

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Průmyslový tester se systémem pro**  
**zpracování obrazu**  
Industrial Tester using Image Processing



## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Šoustek**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Průmyslový tester se systémem pro zpracování obrazu  
Industrial Tester using Image Processing**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Při sériové výrobě průmyslových výrobků je zapotřebí provádět kontrolu kvality hotového výrobku, někdy měřicí technikou, někdy lidským zrakem. Pro vizuální inspekci se jako náhrada lidské obsluhy používají průmyslové kamery a techniky nazývané Strojové vidění. Průmyslová kamera spolu s objektivem a osvětlením sejme obraz výrobku a přenesení jej po vhodné komunikační sběrnici do počítače. V počítači je pak obraz z kamery zpracován pomocí SW pro strojové vidění. Takový SW dokáže nasnímaný obraz před dalším zpracováním vhodně upravit a pak provést vlastní vyhodnocení obrazu. Diplomová práce se zabývá výběrem vhodných komponent a zejména vývojem SW pro výše popsany typ testeru.

### Body zadání:

1. Rozbor technologie zpracování obrazu v oblasti průmyslového testingu založeném na PC-based technologiích.
2. Popis vývojových prostředí používaných pro návrh automatizovaného kamerového měření - přehled a charakteristika.
3. Rozbor funkce a popis komponent kamerového systému testeru. Návrh komponent.
4. Zpracování obrazu v prostředí testování a měření v průmyslové výrobě.
5. Návrh a vývoj SW komponent testeru v grafickém programovacím jazyku LabVIEW.
6. Ověření funkce a zhodnocení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 19-348-9108-8.
- [2] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabView advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007, 499 s. ISBN 08-493-3325-3.
- [3] ŠONKA, Milan a Václav HLAVÁČ. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. 252 s. ISBN 80-85424-67-3.
- [4] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, xxv, 829 s. ISBN 978-0-495-08252-1.  
Dostupné z: <http://www.engineering.uiowa.edu/~dip/LECTURE/lecture.html>.
- [5] HLAVÁČ, Václav. *Zpracování signálů a obrazů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 220 s. ISBN 80-010-2114-9.
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Assistant Tutorial*. VA\_Tutorial.PDF, 62 s., součást instalace LabVIEW 2013.
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial 2012*. VBAI Tutorial.pdf, 104 s., součást instalace LabVIEW 2013.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*



### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



Lukáš Šoustek

### Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D za trpělivost, ochotu a pomoc při realizaci této práce a zároveň rodině, že mi bylo umožněno studium na VŠ.





## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se věnuje návrhu a realizaci systému pro vizuální detekci chyb na povrchu materiálů, konkrétně kontrole správnosti osazení desek plošných spojů.

Diplomová práce byla realizována ve firmě ATEsystem, specializující se na testování a vizuální kontrolu výrobků v různých fázích výrobního procesu.

Pro realizaci práce byla k dispozici sestava lineárního posuvu s detailnějším popisem dále. Program optické kontroly byl vyvíjen v programovacím prostředí LabVIEW, ale byla možnost vývoje také v prostředí Vision builder for automated inspection.

Praktická část práce v závěru vypadá jako samostatné strojní zařízení jednak s dvoustavovým výstupem výrobek v pořádku / výrobek vadný a s podrobnějšími výsledky testů pro případné uložení do firemní databáze.

## **Klíčová slova**

DPS (deska plošného spoje), SMD (součástky pro povrchovou montáž), SMT (technologie osazování součástek pro povrchovou montáž), THT (technologie osazování součástek s drátovými vývody), AOI (automatické optické inspekce)

## **Abstract**

This thesis deals with design and implementation of a system for visual detection of defects on the material surface, particularly checking the accuracy of assembly on printed circuit boards.

Diploma thesis was realized in ATEsystem company, specialized in testing and visual inspection of products in various stages of the manufacturing process.

For the work realization was used linear displacement assembly with more elaborated description below. The optical inspection program was developed in LabVIEW programming environment but there was also the possibility of development in the Vision Builder for Automatic Inspection environment.

The practical part of this work in the end looks like a separate machinery with double state output - product is good / defective and more detailed test results for saving in company database.

## **Key Words**

DPS (printed circuit board), SMD (surface mount devices), SMT (surface mount technology), THT (throw hole technology), AOI (Automatic optical inspection)



## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Popisy klíčových částí .....	2
2.1	Popis řádkové kamery .....	2
2.2	Popis objektivu .....	4
2.3	Popis lineární posuvné soustavy .....	5
2.4	Popis HW měřicí sestavy .....	6
2.5	Popis kvadrurního snímače polohy .....	8
2.6	Popis výroby desek plošných spojů .....	9
3	Realizace .....	10
3.1	Technologie používané pro zpracování obrazu .....	10
3.2	Vývojová prostředí používaná pro zpracování obrazu .....	11
3.3	Příprava HW měřicí sestavy .....	13
3.3.1	Doplnění vnitřních el. rozvodů .....	13
3.3.2	Výroba kabeláže .....	13
3.3.3	Nastavení kamery .....	15
3.3.4	Napájení snímače polohy vozíku .....	17
3.3.5	Uchycení DPS .....	19
3.4	Zpracování obrazu v prostředí testování a měření v průmyslové výrobě .....	20
3.5	Návrh a vývoj SW komponent testeru v grafickém programovacím jazyku LabVIEW .....	23
3.5.1	Úprava rozlišení obrazu .....	23
3.5.2	Úprava snímků získaných z kamery .....	24
3.5.3	Vyhledávání objektů na DPS .....	27
3.5.4	Obrazové předlohy, pouzdra: .....	30
3.5.5	Konfigurační data: .....	34
3.5.6	Zadávaní kontrolních parametrů uživatelem: .....	35
3.5.7	Uživatelské rozhraní programu: .....	36
3.5.8	Výsledky kontroly osazení DPS: .....	37
3.5.9	Zobrazení výsledků kontroly osazení DPS: .....	39
3.5.10	Výsledky testů, hodnocení: .....	40

3.5.11	Profesionální zařízení automatického optického testeru: .....	42
4	Závěr .....	43
5	Literatura .....	45
	Přílohy .....	47

## Seznam obrázků

Obr. 1 Řádková kamera .....	2
Obr. 2 Model sestavy .....	3
Obr. 3 Objektiv Kowa .....	4
Obr. 4 Řídící jednotka posuvu .....	5
Obr. 5 Servo motor .....	5
Obr. 6 Ovládací panel sestavy .....	6
Obr. 7 Vnitřní uspořádání sestavy .....	7
Obr. 8 Signály kvadrurního snímače .....	8
Obr. 9 Uložení magnetického pásu a snímače polohy .....	8
Obr. 10 Doplněné svorkovnice vpravo, instalována napájecí a trigrovací kabeláž .....	13
Obr. 11 Umístění, číslování konektorů kamery .....	14
Obr. 12 Nastavení způsobu čtení z kvadrurního snímače .....	16
Obr. 13 Nastavení spouštění úlohy v menu kamery .....	16
Obr. 14 Nastavení spouštění .....	16
Obr. 15 Nastavení spouštění snímání řádků .....	16
Obr. 16 Nastavení oblasti zájmu v obraze .....	16
Obr. 17 Schématické znázornění propustného měniče .....	17
Obr. 18 Rozmístění součástek na DPS .....	17
Obr. 19 Schématické zapojení měniče v programu Eaagle .....	17
Obr. 20 DC/DC měnič včetně uchycení .....	18
Obr. 21 Snímek DPS z boku .....	19
Obr. 22 Detail uložení DPS .....	19
Obr. 23 Osvětlovač Effi Line v2 .....	20
Obr. 24 Princip funkce Dark field .....	20
Obr. 25 Pohled na měřicí sestavu v provozu, nasvícení materiálu dvěma světly .....	22
Obr. 26 Jeden osvětlovač pod velkým úhlem vzhledem ke kameře .....	21
Obr. 27 Jeden osvětlovač s malým úhlem vzhledem ke kameře .....	21
Obr. 28 Dva osvětlovače s velkým úhlem vzhledem ke kameře .....	22
Obr. 29 Kalibrace x osy .....	24
Obr. 30 Kalibrace y osy .....	24
Obr. 31 Snímek z kamery po provedení prahování .....	25
Obr. 32 Snímek po detekci hran .....	26
Obr. 33 Snímky DPS zarovnané dle světlého okraje a oříznuté .....	27
Obr. 34 Tantalové SMD kondenzátory .....	28
Obr. 35 Čipy .....	28
Obr. 36 Snímek DPS se zvýrazněním pájených spojů .....	29
Obr. 37 Keramické kondenzátory .....	30
Obr. 38 Tantalové kondenzátory .....	31
Obr. 39 Elektrolytické kondenzátory .....	31



Obr. 40 Diody ve skleněném pouzdře .....	31
Obr. 41 Dioda v plastovém pouzdře malá: .....	32
Obr. 42 Dioda v plastovém pouzdře velká .....	32
Obr. 43 Tranzistory malé: .....	32
Obr. 44 Tranzistory větší: .....	32
Obr. 45 Tranzistory SMD největší: .....	32
Obr. 46 Kondenzátor tantalový B .....	33
Obr. 47 Kondenzátor elektrolytický D .....	33
Obr. 48 Čip v pouzdře SO8 .....	33
Obr. 49 Tranzistor SMD v pouzdře SOT23 .....	33
Obr. 50 Příklad konfigurace kontrolního souboru .....	36
Obr. 51 Uživatelské rozhraní programu .....	37
Obr. 52 Seznam nalezených dílů .....	38
Obr. 53 Seznam kontrolovaných dílů .....	38
Obr. 54 Vztahy mezi seznamy .....	38
Obr. 55 Barevné značení výsledků v náhledu konfiguračních dat .....	39
Obr. 56 Barevné značení výsledků ve snímku DPS .....	40
Obr. 57 Souhrnné označení výsledků kontroly osazení DPS .....	40
Obr. 58 Standardní vz. telecentrický objektiv .....	41
Obr. 59 Profesionální AOI zařízení .....	42

## Seznam tabulek

Obr. 13 Umístění, číslování konektorů kamery	Ta
bulka 1 Funkce pinů 6 pinového napájecího konektoru .....	14
Tabulka 2 Funkce pinů 12 pinového datového konektoru .....	14
Tabulka 3 Výčet obsahu konfiguračního souboru .....	34
Tabulka 4 Možnosti názvů souborů .....	35



# 1 Úvod

Při výrobě jakýchkoli dílů nevyhnutelně vznikají kusy s různým stupněm vad. Některé poškození je možné odhalit hned ve výrobě jako například zlomeniny a silné deformace případně zřetelné barevné vady, nicméně vždy je při kontrole přítomen člověk, jenž jako nejslabší článek výrobního řetězce způsobuje chyby ať už nepozorností nebo únavou. Zároveň má člověk omezené možnosti rozpoznání míry poškození a rychlosti vyhodnocení a proto je na danou pozici nevhodný.

V současnosti nastupují systémy pro zpracování obrazu, u kterých záleží, pouze jak robustně je programátor navrhl, neznají únavu a jsou schopny kontrolovat několik výrobků najednou se stejnou kvalitou kontroly.

Proces výroby desek plošných spojů je celkem složitý děj zahrnující velké množství kroků. Jednotlivé operace celého procesu jsou náročné a nikdy nelze zcela vyloučit chyby. Vliv na chybovost má jak použité zařízení, materiál, tak i vlastní lidský faktor. Cílem každého výrobce je odstranit chyby, nebo je alespoň minimalizovat. Dlouhodobé zkušenosti výrobců potvrzují, že každé zjištění závady a její následné odstranění v dalším stupni výroby stojí 10x více než odstranění na tom stupni výroby, kde byla závada způsobena. Z toho vyplývá nutnost kontroly mezi jednotlivými operacemi. Sledování kvality výrobků je tedy základem každého výrobního procesu.

Pro řízení procesů a udržení kvality výroby je nezbytné získávat informace jak o vstupních parametrech procesu, tak o stavu výstupu. Kontroly desek plošných spojů můžeme rozdělit do dvou základních kategorií – optická kontrola a elektrická kontrola. Opticky je možno hodnotit kvalitu provedení frézovaných nebo leptaných spojů, kvalitu pájeného spoje, přítomnost a orientaci součástky. Elektrická kontrola může testovat osazenou desku z hlediska jejích funkčních vlastností, elektrických vlastností součástek, zkratů a přerušení. V praxi se používá kombinace obou metod.

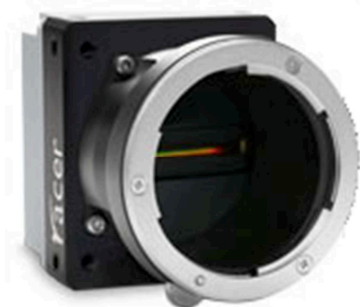
Optickou kontrolou se zabývá tato diplomová práce. Jejím cílem je maximální využití optických testů pro zajištění nejvyšší kvality při výrobě DPS.

## 2 Popisy klíčových částí

### 2.1 Popis řádkové kamery

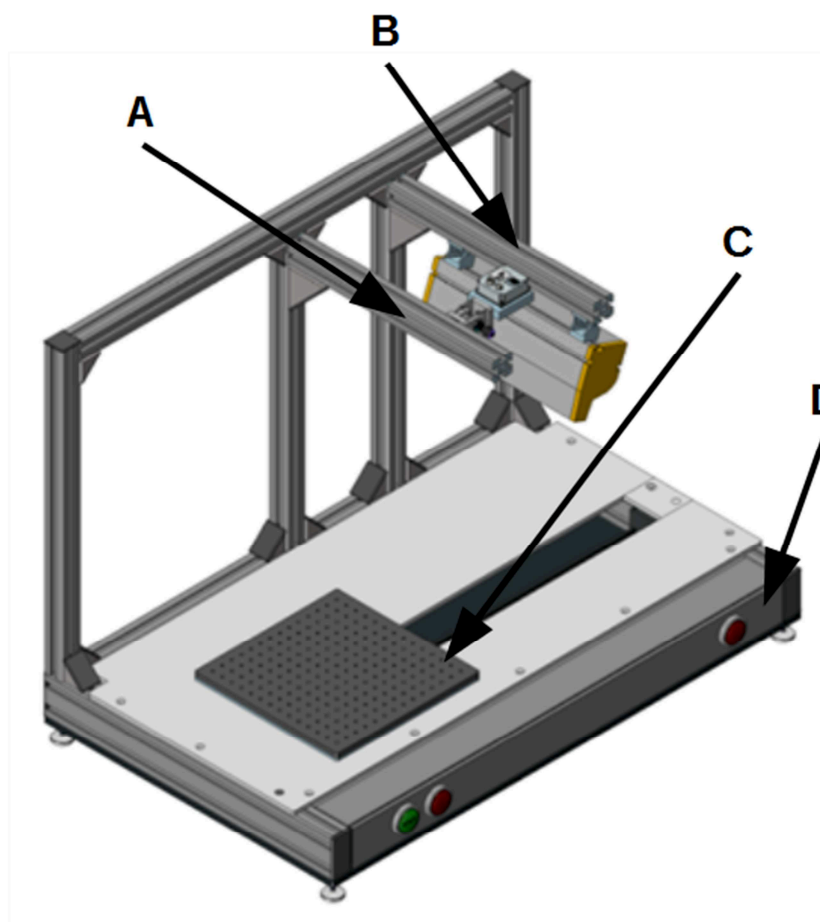
Jako primární skenovací zařízení je využita řádková kamera Basler Racer raL6144-16gm s rozhraním Gigabit Ethernet. Obr. 1. Řádková kamera byla zvolena z důvodu možnosti spolupráce s lineární posuvnou soustavou při skenování dlouhých DPS či více kusů DPS za sebou. Výhodou použití řádkové kamery je velký obrazový snímač v jedné ose snímání obrazu, což eliminuje nutnost pohybu kamerou v této ose při snímání s velkým rozlišením. Jedná se o monochromatickou kameru se snímačem typu CMOS s rozlišením 6144 x 1 pixelů. Maximální bitová hloubka pixelu je 12 bitů, napájení 12V až 24V dc se spotřebou maximálně 4,5W. V dokumentaci kamery výrobce neuvádí, zda je kameru možno napájet přes Ethernetové rozhraní (PoE), předpokladem tedy je, že nikoli a k napájení je využit kruhový 6 pinový napájecí konektor. Kamera disponuje digitálními linkami se třemi vstupními diferenčními kanály a dvěma výstupními diferenčními kanály.

Řízení snímání řádků obrazu je trigrováno signálem z kvadrurního snímače polohy pojezdu lineárního pohonu HIWIN Magic TTL (viz 2.5 Popis kvadrurního snímače polohy). Maximální frekvence snímání kamery je 17kHz, tomu je nutné přizpůsobit maximální rychlost pohybu pojezdu.



*Obr. 1 Řádková kamera*

Řádková kamera je umístěna na měřicí sestavě s lineárním pohonem Obr. 2. Sestava se skládá z držáku řádkové kamery A, držáku osvětlení B, lineárního pohonu s pojezdem pro umístění testovaného výrobku C a ovládacího panelu D.



*Obr. 2 Model sestavy*

## 2.2 Popis objektivu

Řádková kamera testeru byla osazena objektivem firmy Kowa Obr. 3. Jedná se o velkoformátový objektiv s označením LM50LF, kde poslední 4 znaky značí ohniskovou vzdálenost  $f=50\text{mm}$ , která řadí objektiv do střední třídy se zorným úhlem přibližně  $46^\circ$ , a provedení objektivu s větším průměrem čoček nutným pro velkoformátové obrazové snímáče a řádkové kamery. Daný objektiv má manuálně řiditelnou jak ohniskovou vzdálenost, tak clonu s minimální hloubkou ostrosti F2,8 a maximální F16. Mechanické uchycení objektivu musí odpovídat mechanickému uchycení objektivu na kameře a jedná se o F – mount, což je mechanismus velkého průměru s bajonetovým závitem.



Obr. 3 Objektiv Kowa

## 2.3 Popis lineární posuvné soustavy

Dále jen lineární pohon – je zařízení realizující lineární pohyb v jedné ose. Existují také víceosé lineární pohony, ale fyzicky se jedná o sloučení více jednoosých pohonů. K realizaci diplomové práce bude využit lineární pohon postavený na platformě firmy HIWIN.

Lineární pohon sestává z třífázového synchronního motoru (AC Servo motor 400W) s integrovaným enkodérem Obr. 4, brzdy jako přídatného modulu k motoru, řídicí jednotky (D2) Obr. 4, dvou indukčních koncových spínačů a dvou tlačítek pro ovládání posunu (posun vlevo, posun vpravo).

Řídicí jednotka D2 slouží k plně digitálnímu vektorovému řízení servomotorů, disponuje funkcí autotuning, potlačení vzniku vibrací (pomalý rozjezd a pomalý dojezd motoru) a umožňuje řízení pozice, rychlosti a momentu pohybu vozíku lineárního pojezdu. Řídicí jednotka disponuje 26 pinovým konektorem s programovatelnými I/O piny a piny s pevně danou funkcí. Mezi piny s pevně danou funkcí je zajímavý výstup kvadrurního snímače motoru s TTL signálem jakožto výstup snímače otáčení servomotoru.

Ovládání lineárního pohonu může probíhat jednak ručně tlačítky na předním panelu, jednak pomocí programu na PC pro ovládání řídicí jednotky HIWIN D2 (Lightening), případně programem vlastní výroby zasílající příkazy po sběrnici USB či EtherCAT. Tvorba programu pro ovládání měniče není úkolem této diplomové práce, ovládání posuvu bude zajištěno ručně příslušnými tlačítky.



Obr. 4 Řídicí jednotka posuvu



Obr. 5 Servo motor

## 2.4 Popis HW měřicí sestavy

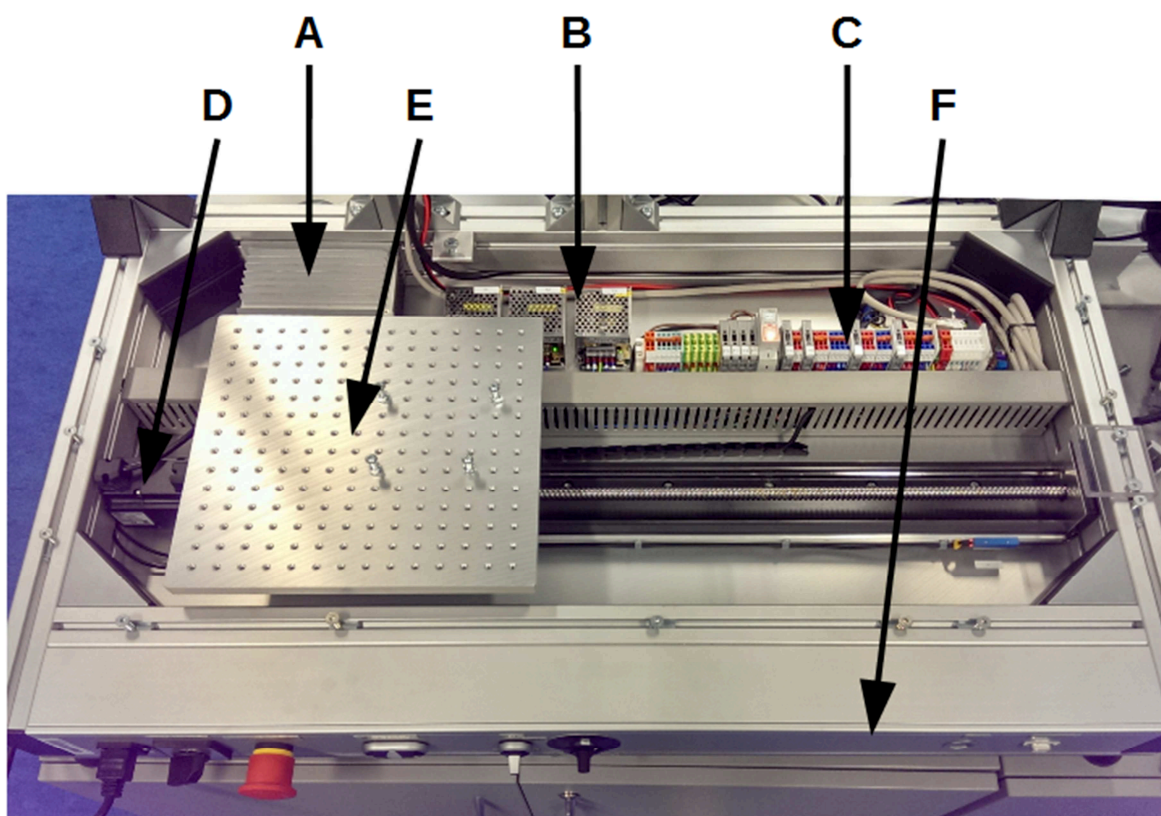
Mechanická konstrukce zařízení, na kterém jsem vyvíjel SW, již byla připravena bez možnosti změny provedení. Sestava se skládá z rámu z hliníkových I-ten profilů, ramen pro uchycení kamery a osvětlení a ze samotného lineárního pohonu. K ovládání sestavy slouží přední panel Obr. 6 s prvky - zleva A síťová zástrčka, B hlavní síťový vypínač, C nouzové stop tlačítko (pomocí relé odpojí napájecí zdroj kamery a osvětlení a napájení výkonové části měniče lineárního pohonu), dále D tlačítka vlevo / vpravo sloužící k ovládání směru pohybu vozíku lineárního pohonu, E vypínač pro vypnutí osvětlení, F potenciometr pro řízení intenzity osvětlení, G USB konektor pro komunikaci s řídicí jednotkou lineárního pohonu a H konektor D-sub DE9 pro snímání pozice vozíku lineárního posuvu magnetickým kvadrantním snímačem. Veškerá potřebná elektroinstalace a pohyblivé mechanizmy se nachází uvnitř sestavy pod krytem z průhledného plexiskla Obr. 7. Krytí je nutné z bezpečnostních důvodů, protože je tím zabráněno přímému dotyku s živými částmi přístroje. Zároveň průhledný kryt přístroje působí velmi efektně, protože obsluha či zájemce o tuto technologii může nahlédnout na fyzické zpracování viditelné elektro a strojní části zařízení.



Obr. 6 Ovládací panel sestavy

Pohled do vnitřního uspořádání sestavy umožňuje obrázek Obr. 7. Interiér sestavy můžeme rozdělit na 3 řady. V horní třetině elektro část – zleva A řídicí jednotka lineárního pohonu, B 3x napájecí zdroj, C DIN lišta s pojistkami, svorkovnicemi a relém pro nouzové vypnutí zařízení. Vodorovný šedý pruh pod svorkovnicemi je kabelová trasa vnitřních rozvodů. Uprostřed sestavy – zleva D servo motor lineárního pohonu s hřídelovou spojkou a mechanikou pojezdu s pohybovým ústrojím ovládaným kuličkovým šroubem, E pojezd pro uložení testovaných objektů. Spodní třetina F slouží pro ovládání a nalézá se zde kontrolní panel Obr. 6.



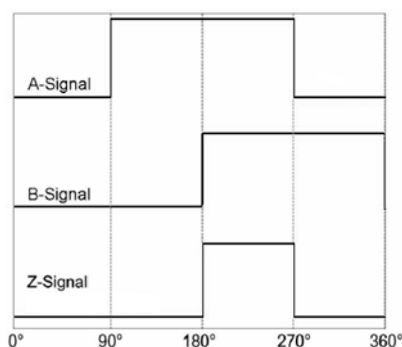


*Obr. 7 Vnitřní uspořádání sestavy*

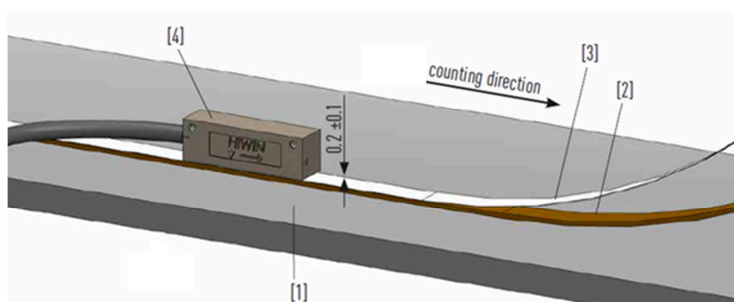
## 2.5 Popis kvadraturního snímače polohy

K získání informace o poloze vozíku lineárního posuvu slouží magnetický kvadraturní snímač polohy HIWIN Magic TTL Obr. 8. Tyto typy snímačů disponují třemi výstupními kanály – dva kanály A, B vzájemně posunuté o  $90^\circ$  a jeden referenční kanál Z, dávající impuls po dokončení jedné periody. Každá perioda posuvu je rozdělena na 4 části Obr. 8, porovnáním těchto částí u signálů vzájemně posunutých o  $90$  stupňů je možné jednoznačně určit, kterým směrem se snímač pohybuje, měřením počtu period nebo počtu impulsů referenčního signálu je možno určit jak daleko se snímač posunul.

Systém měření pozice kvadraturního snímače se skládá z několika částí Obr. 8. Samotná snímací jednotka Obr. 8 č. 4 s výstupními signály ve tvaru digitálního TTL signálu s napětovým rozsahem 0V - 5V a přesností měření na  $1\mu\text{m}$ . Požadavky na napájení udává výrobce 5V  $\pm 5\%$ , proudový odběr v klidu 70mA, špičkový odběr 120mA. Nedílnou součástí kvadraturního snímače polohy je magnetický pásek Obr. 8 č. 2. Tento pásek je tvořen příčně uloženými lamelami s opačnou magnetickou polarizací s tloušťkou každé lamely 0,5mm, tj. perioda opakování 1mm. Ochrana magnetického pásku proti poškození je tvořena hliníkovým nebo nerezovým krycím plechem Obr. 8 č. 3, který, protože se jedná o nemagnetický materiál, chrání proti vnějším vlivům a zároveň dobře propouští magnetické pole.



Obr. 8 Signály kvadraturního snímače



Obr. 9 Uložení magnetického pásku a snímače polohy

## 2.6 Popis výroby desek plošných spojů

Pro výrobu kvalitní desky plošného spoje je nutné dodržet několik pravidel – správná výrobní dokumentace, použití kvalitních vstupních materiálů a při výrobě použití osvědčených technologických postupů. Výroba DPS může probíhat dvěma způsoby a to fotocestou nebo frézováním. Při výrobě fotocestou, je na čistou DPS nanесena fotocitlivá vrstva a přes šablonu nasvícena zdrojem UV záření. Ozářením dojde k chemické změně mezi osvětlenou oblastí a neosvětlenou oblastí. Následuje chemické vyvolání, kdy dojde k rozpuštění fotocitlivé vrstvy v místě, kde proběhly chemické změny při osvětlení. Tímto krokem je odhalena čistá měděná vrstva DPS, určená pro následné odleptání a tím vytvoření izolačního prostoru mezi vodivými cestami. Jinou možností výroby je frézování, zde fréza odstraňuje přímo měděný potah DPS, šablonu zpracovává počítač přepočítáním na souřadnice pohybu frézy.

U metody výroby fotocestou je doporučena optická kontrola šablony, vyvolaného filmu a vyleptaných vodivých cest dle zadávací dokumentace. U metody výroby frézováním lze opticky kontrolovat až vyfrézované vodivé cesty. Jednou z úloh této diplomové práce je optická kontrola vodivých cest neosazených DPS. Program bude automaticky kontrolovat šířku vodivých cest, přeleptání či odtržené cesty (přerušení), nedoleptané cesty (zkratky).

Po odleptání / vyfrézování vodivých cest následuje nanášení nepájivé vrstvy a vrstvy s potisky. U obou vrstev lze opticky kontrolovat shodu se zadávací dokumentací. Po úspěšném dokončení těchto kroků prochází deska nanášením lepidla pro SMD součástky pájené metodou pájecí vlny, kontrola přítomnosti lepidla, osazení SMD součástek této vrstvy, kontrola osazení a vytvrzení lepidla. Následně probíhá nanášení pájecí pasty na pájecí plošky SMD součástek pro horní stranu DPS, kontrola nanášení, osazení SMD součástek na této straně a opět kontrola osazení. Posledními několika kroky je roztavení pájecí pasty v Reflow peci, pájení pomocí pájecí vlny a po dokončení a vychladnutí kontrola přítomnosti všech součástek. Až po splnění všech těchto kroků je vhodné přistoupit k elektrickým testům.

## 3 Realizace

### 3.1 Technologie používané pro zpracování obrazu

V oblasti výroby elektronických zařízení se používají pro kontrolu kvality DPS, spojů a osazení následující tři metody – manuální kontrola, plně automatická kontrola a kombinace obojího jako poloautomatický kontrolní systém viz [4]. Cílem této diplomové práce je naprogramovat systém obdobný poloautomatickému kontrolnímu systému.

Manuální kontrola – Prováděna pomocí mikroskopů či kamerových zobrazovacích systémů. Tento typ kontroly je časově i fyzicky náročný, výsledek je závislý na zkušenostech operátora. Jako hlavní problém u této metody spatřuji lidskou omylnost a subjektivní hodnocení. Nicméně z krátkodobého hlediska je tato metoda nejlevnější.

Automatické kontrolní systémy – Veškeré hodnocení provádí počítač na základě databáze správného provedení a dle výrobních tolerancí. Tyto systémy jsou schopny pracovat zcela samostatně, nepotřebují ke své činnosti člověka. Co se týče cenové náročnosti, jedná se o nejdražší systémy, nicméně cenu zde vyvažuje objem zpracovaného materiálu a rychlost. Tyto systémy jsou vhodné do velkosériových provozů s velkým objemem stejných výrobků, to z důvodu komplikovaného vkládání vstupních dat. Všechny kontrolované parametry musí přístroj předem znát včetně tolerancí, dle kterých automaticky hodnotí test za úspěšný či neúspěšný.

Poloautomatické kontrolní systémy – Přístroj neprovádí hodnocení chyb, vady jen vyhledává a označuje. Výsledné hodnocení je závislé na zkušenostech operátora, přístroj označením chyb podstatně zrychluje a usnadňuje proces kontroly. Ten může probíhat dvěma způsoby: jednak porovnáváním testované DPS se snímkem dobré DPS nebo zadáním informací o součástkách, vygenerováním masky rozložení součástek a následným porovnáním testované DPS s vytvořenou maskou. Tento typ systému odstraňuje některé nevýhody zmíněných dvou řešení a to zkrácení doby kontroly a zvýšení kvality v porovnání s manuální kontrolou a nižší pořizovací cena a jednodušší zadávání vstupních dat než plně automatické systémy. Tyto systémy jsou vhodné pro malosériové výroby.

### 3.2 Vývojová prostředí používaná pro zpracování obrazu

V technické praxi existuje velké množství vývojových prostředí pro zpracování obrazu, ovšem mezi globálně rozšířené systémy mohou řadit:

LabVIEW - Program firmy National Instruments v kombinaci s programovými moduly Vision Acquisition Software a Vision Development Module umožňuje jak správu záznamového zařízení (Vision Acquisition Software), tak zpracování získaných dat a jejich následnou interpretaci (Vision Development Module). Jedná se o placený SW s možností online a telefonické podpory výrobce. Tohle prostředí mi připadá uživatelsky nejpřívětivější nejspíš z důvodu čistě graficky orientovaného způsobu programování viz. obrázek Obr. 10.

Vision Builder for Automated Inspection - Software stejného výrobce, prostředí je vytvořeno striktně pro systémy kamerového vidění. Jedná se o placený SW, přehledně graficky znázorňuje sled úprav obrazových dat a výsledky testů, na jejich základě umožňuje vytvářet cykly a větvit testy dle potřeby. Obdobně jako LabVIEW, se jedná o graficky orientované programovací prostředí, kdy funkce nastavujeme volbou parametrů prvků. Vzhled programu ukazuje obrázek Obr. 11.

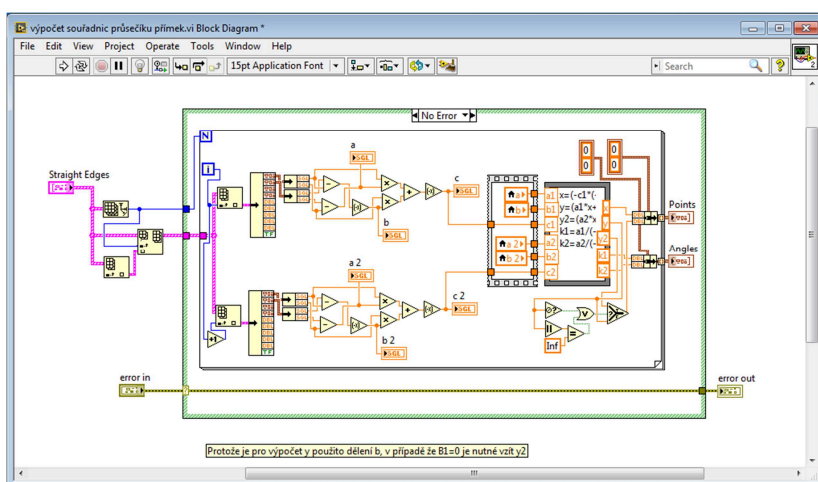
Matlab – Program společnosti MathWorks, v kombinaci s modulem Image Processing Toolkit opět umožňuje správu záznamových zařízení, zpracování získaných dat a jejich následnou interpretaci. Jedná o placený SW, program je funkčně srovnatelný s LabVIEW s jediným rozdílem, Matlab je textově orientované vývojové prostředí.

OpenCV (open source computer vision) – Svobodná otevřená multiplatformní knihovna původně vyvíjená společností Intel. Jedná se o doplněk vývojových prostředí např. Java či Visual studio (prostředí s jazyky C, C++), kde slouží jako systém počítačového vidění a zpracování obrazu. OpenCV je designována se zaměřením na efektivitu výpočtů a real time aplikace, to znamená, maximální využití více jádrového zpracování. Knihovna je zdarma jak pro akademické, tak pro komerční využití.

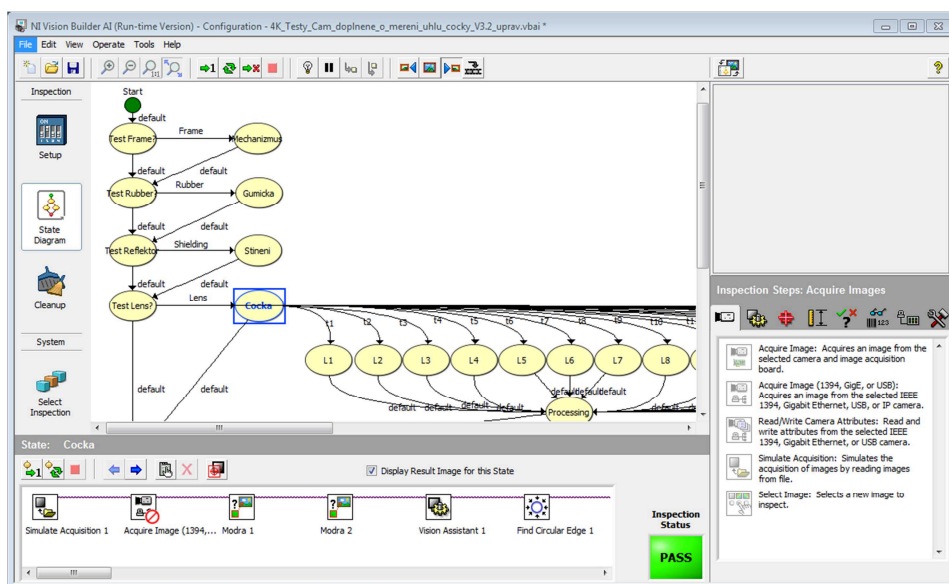
Control Web – Program firmy Moravské přístroje, jedná se o placený SW s všestranným využitím. Díky modulární koncepci nemá problém zajišťovat funkci regulátoru, vizualizaci dat, zpracování obrazových dat, síťové funkce a mnoho dalšího. Jedná se o placený SW s možností technické podpory výrobce.

HALCON – Program firmy MVTec Software s integrovaným vývojovým prostředím HDevelop slouží jako výkonný nástroj pro obsluhu obrazových záznamových zařízení a zpracování obrazových dat (obecně systém strojového vidění). Jedná se o placený SW s textově orientovaným programovacím jazykem. Podporuje více jádrové a více procesorové zpracování

MERLIC - Program firmy MVTec Software, jedná se o zjednodušené grafické vývojové prostředí podobné Vision Builder for Automated Inspection od National Instruments. Jedná se o vývojové prostředí striktně určené pro zpracování obrazu, programování probíhá nastavováním parametrů zvolených modulů. Stejně jako u programu HALCON se jedná o placený SW.



Obr. 10 Příklad kódu v LabVIEW



Obr. 11 Příklad kódu ve Vision Builder for Automated Inspection

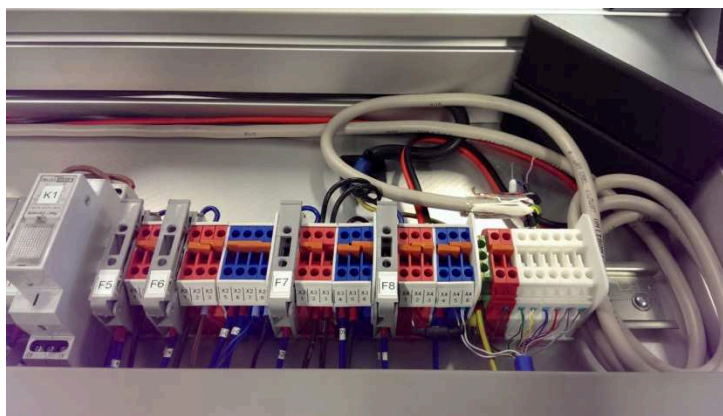
### 3.3 Příprava HW měřicí sestavy

Měřicí sestava má pro instalaci kamerového systému připraveno mechanické uchycení pomocí Item profilů zvlášť uchycení kamery a zvlášť uchycení osvětlení, dále 12V napájecí zdroj pro napájení kamery a 24V napájecí zdroj pro napájení osvětlení, každý 50W vyvedené na vnitřní DIN lištu sestavy. Dále je v zařízení instalován kvadrturní snímač polohy vozíku lineárního posuvu vyvedený na konektor D-sub na předním panelu sestavy.

#### 3.3.1 Doplnění vnitřních el. rozvodů

Rozmístění konektorů popsané výše je z hlediska robustnosti systému a z hlediska estetiky nevhodné (D-sub konektor je zbytečně přístupný obsluze, kabeláž trigrování musí vést okolo celé měřicí soustavy). Mnohem efektivnější je vyvést všechny signály pro kamerový systém na vnitřní DIN lištu Obr. 12 a odtud společně s kabeláží osvětlení k samotné kameře.

Úprava spočívá v doplnění 6 kusů jednopólové bílé svorkovnice na DIN lištu pro kabeláž kvadrturního snímače (diferenční signály pohybu a směru A+, A-, B+, B- a nevyužité referenční signály Z+ a Z-) a 2 kusů červené jednopólové svorkovnice pro napájení snímače 5V. Z kabeláže kvadrturního snímače byla vyvedena odbočka na svorkovnici na DIN lištu, tím byla zachována funkce jak D-sub konektoru na předním panelu tak umožněna instalace signálových rozvodů přes vnitřní kabelovou trasu sestavy.



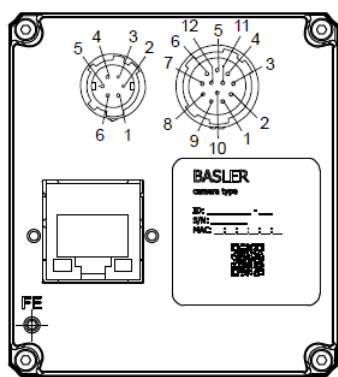
Obr. 12 Doplněné svorkovnice vpravo, instalována napájecí a trigrovací kabeláž

#### 3.3.2 Výroba kabeláže

Dalším krokem bylo vytvoření kabeláže pro kamerový systém. Napájení kamery 12V bylo vedeno z připravené svorkovnice na DIN liště na kruhový šesti pinový napájecí konektor kamery. Z důvodu zajištění bezpečného napájení kamery byla osazena svorkovnice napájení kamery jednosměrným transilem 15V 1500W. Jedná se o součástku s charakteristikou podobnou zenerově

diodě, po překročení 15V rychle snižuje vnitřní odpor a tím chrání napájecí síť před přepětím. Zároveň díky jednosměrné funkci se při prepólování zdroje chová jako dioda a vytváří zkrat, kterým chrání napájecí síť před napětím opačné polarity. Rozložení pinů na šesti pinovém napájecím konektoru zobrazuje Tabulka 1.

Kabeláž pro řízení kamery trigrovacím signálem z kvadrurního snímače polohy byla vedena z doplněné signálové svorkovnice z DIN lišty na kruhový 12 pinový datový konektor kamery. Konkrétní propojení odpovídá - signál A kvadrurního snímače veden na vstup I/O Input 1, signál B kvadrurního snímače veden na I/O Input 3 viz. Obr. 14. Rozložení pinů dvanácti pinového datového konektoru zobrazuje Tabulka 2.



Pin	Funkce
1	Napájení +12V až +24V
2	
3	Nepřipojeno
4	Nepřipojeno
5	Napájení zem
6	

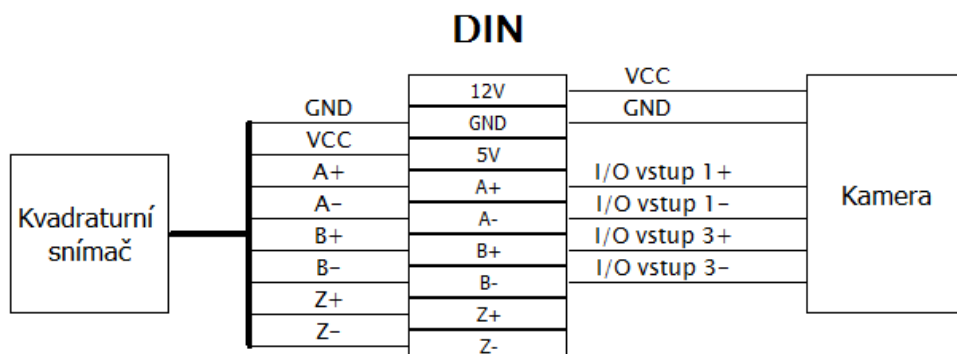
Obr. 13 Umístění, číslování konektorů kamery

Tabulka 1 Funkce pinů 6 pinového napájecího konektoru

Pin	Funkce
1	I/O vstup 1-
2	I/O vstup 1+
3	I/O vstup 3-
4	I/O vstup 3+
5	Zemnění
6	I/O výstup 1-
7	I/O výstup 1+
8	I/O vstup 2-
9	I/O vstup 2+
10	Nepřipojeno
11	I/O výstup 2-
12	I/O výstup 2+

Tabulka 2 Funkce pinů 12 pinového datového konektoru





Obr. 14 Schématické znázornění propojení kamery s kvadraturním snímačem polohy

### 3.3.3 Nastavení kamery

Jako SW pro získávání snímků z kamerového systému byl použit program PylonViewer firmy Basler. Zapojení popsanému v kapitole 3.3.2 Výroba kabeláže odpovídá nastavení trigrování v menu kamery (Shaft Encoder Module) viz. Obr. 15. Proces získávání obrazu z řádkové kamery sestává ze 3 základních kroků.

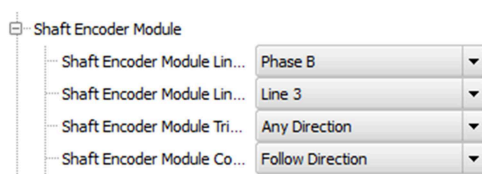
Spuštění úlohy (acquisition start / stop) – povolení reagovat na události snímku a řádku, funkčně odpovídá zapnutí kamery Obr. 16.

Vytvoření snímku (frame start / stop) – v menu kamery je nastavitelné rozlišení snímků, frame start povoluje reagovat na události řádku a povoluje ukládat data řádků do paměti. Po naplnění paměti daty dojde k odeslání celého snímku do řídicího počítače Obr. 16.

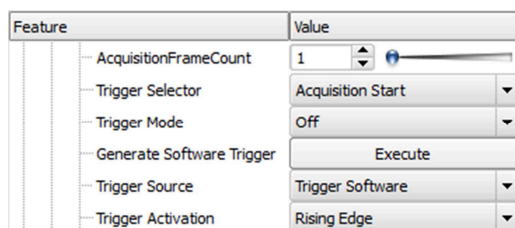
Snímání řádků (line start) – spustí ukládání hodnot jednotlivých pixelů v řádku do paměti Obr. 16.

Spouštění úlohy měření je ponecháno na automaticce, která po příchodu trigrovacího signálu frame start automaticky spustí úlohu měření acquisition start Obr. 16. Pohybem kvadraturního snímače se tedy spouští vytváření snímku frame start Obr. 16 a zároveň kanál A spouští snímání jednotlivých řádků Obr. 16.

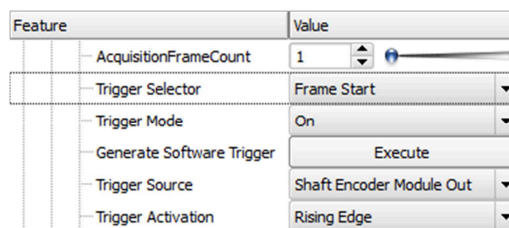
Počet řádků a sloupců pixelů ve snímku DPS byl volen s ohledem na velikost DPS tak, aby umožnil variabilitu polohy DPS při snímání viz. Obr. 18. Velikost samotné DPS činí 2565x3245 pixelů tj. 90x118mm viz kapitola 3.5.1 Úprava rozlišení obrazu, při rozlišení 28,5 pixelu na mm v x ose a 27,5 pixelu na mm v y ose. Po testech byla výška snímku zvednuta na maximální velikost danou velikostí paměti kamery tj pro 3000 pixelů v řádku 4900 řádků.



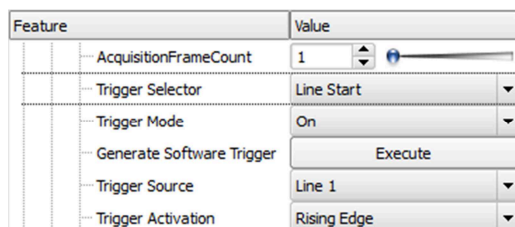
Obr. 15 Nastavení způsobu čtení z kvadrurního snímače



Obr. 16 Nastavení spouštění úlohy v menu kamery



Obr. 17 Nastavení vytvoření snímku



Obr. 18 Nastavení spouštění snímání řádků

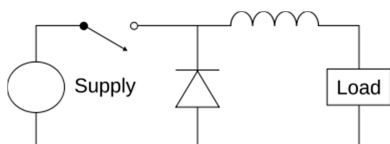


Obr. 19 Nastavení oblasti zájmu v obraze

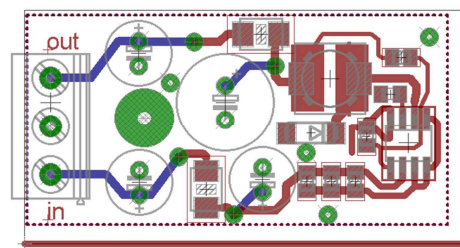
### 3.3.4 Napájení snímače polohy vozíku

Bylo nutné také doplnit napájení kvadrurního snímače polohy vozíku lineárního posuvu HIWIN Magic, s parametry 5V, 70mA, špičkově 120mA. K tomuto účelu byl navržen pulzní DC/DC měnič z 12V větve napájení kamery na 5V pro kvadrurní snímač Obr. 20. Pulzní měnič byl zvolen z důvodu vyšší účinnosti a zajímavější konstrukci než v případě použití lineárního regulátoru.

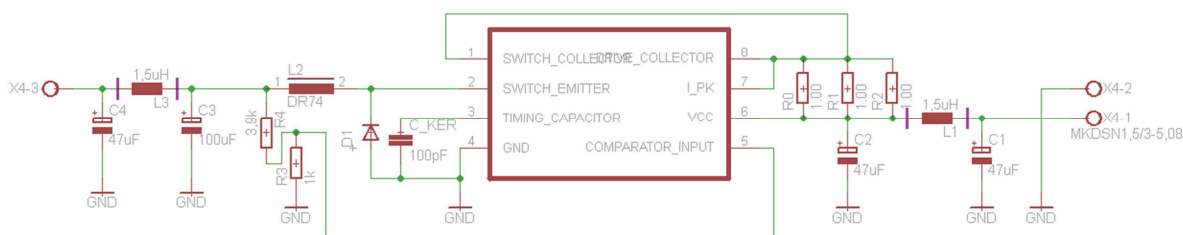
Umístění DC/DC měniče bylo zvoleno na DIN lištu vedle svorkovnic. Srdcem měniče je integrovaný obvod MC33063 jako 1,5A step down pulzní regulátor s rozsahem napájecích napětí 3 – 40V, taktovaný na cca 100kHz. Parametry součástek byly voleny pro maximální trvalý výstupní proud 250mA. Měnič pracuje jako buck converter (propustný měnič) viz. Obr. 20, kdy po sepnutí spínače lineárně vzrůstá napětí na zátěži, v okamžiku dosažení žádané hodnoty pomocí zpětné vazby s odporovým děličem dojde k vypnutí spínače a energie uložená v magnetickém poli cívky způsobí pokračování dodávky proudu do zátěže a lineární pokles napětí na zátěži. Opět dosažením minimální hraniční hodnoty napětí na zátěži dojde k sepnutí spínače a děj se opakuje. Navržený měnič obsahuje dvojité výstupní filtr, tzv.  $\pi$  článek, který minimalizuje zvlnění výstupního napětí Obr. 20. Návrh měniče byl proveden v programovém prostředí Eagle. Vzhled navrženého zařízení ukazuje Obr. 20, vzhled hotového výrobku ukazuje Obr. 20.



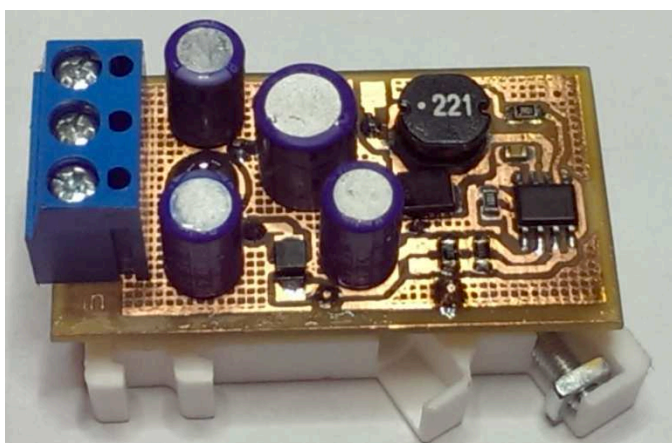
Obr. 20 Schématické znázornění propustného měniče



Obr. 21 Rozmístění součástek na DPS



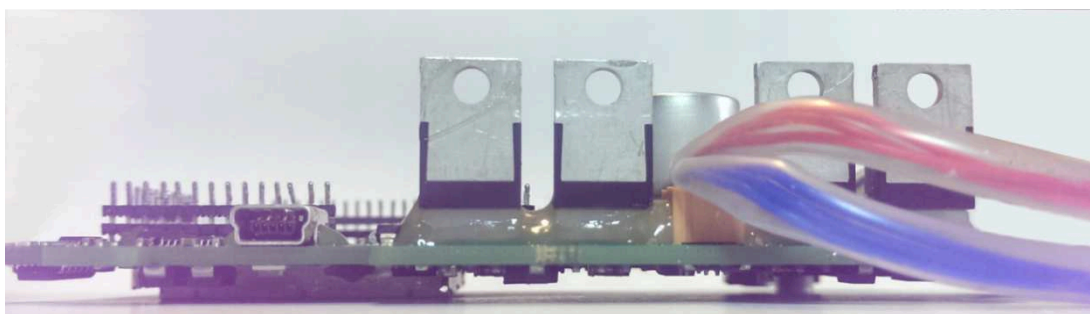
Obr. 22 Schématické zapojení měniče v programu Eagle



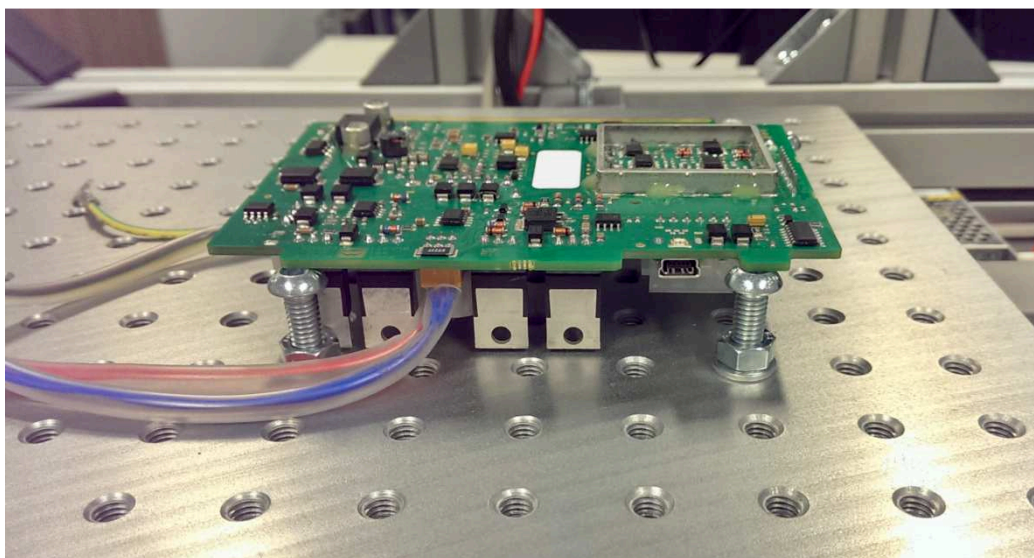
*Obr. 23 DC/DC měnič včetně uchycení*

### 3.3.5 Uchycení DPS

Z důvodu přítomnosti součástek s rozdílnou výškou pouzdra mezi horní a spodní stranou testované osazené DPS není možné jednoduše položit DPS na desku lineárního pohonu – vlivem výšky pouzdra by byl povrch DPS v různé vzdálenosti od kamery a tím by docházelo k rozostření některé ze stran testovaného výrobku Obr. 24. Jako dočasné řešení bylo zvoleno podložení DPS v rozích čtyřmi šrouby se stejnou vzdáleností hlavy šroubu od povrchu pojezdu. Tímto byla zajištěna konstantní vzdálenost povrchu DPS od kamery, bohužel nebyla zajištěna konstantní pozice DPS vůči kameře (posun v x, y ose, rotace) Obr. 25. Konstantní vzdálenost DPS od objektivu je klíčová při vytváření kvalitních snímků s optimální rovinou zaostření.



Obr. 24 Snímek DPS z boku



Obr. 25 Detail uložení DPS

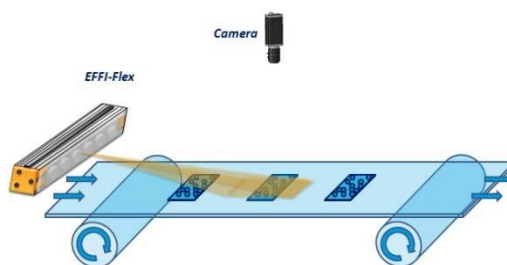
Jako plán do budoucna a pro zlepšení profesionálního vzhledu měřící sestavy testeru je možné navrhnout 3D model plastového držáku DPS, jenž zároveň zajistí konstantní polohu DPS vzhledem k podložce a eliminuje nutnost vyhledávání hran a následné nastavování vztažné soustavy v programu zpracování snímaného obrazu. Jako vhodné návrhové prostředí 3D modelů zařízení je možné využít programy AutoCAD či Autodesk Inventor, který je dostupný ke stažení se studentskou licencí.

### 3.4 Zpracování obrazu v prostředí testování a měření v průmyslové výrobě

Testy nasvícení zkoumané DPS byly provedeny lineárním osvětlovačem firmy EFFILUX s názvem EffiLine v2 viz. Obr. 26. Jedná se o vysoce výkonné LED svítidlo s analogovou regulací intenzity osvětlení a maximálním příkonem 24V 50W. Při testech měřicí sestavy byl použit osvětlovač s bílým světlem. Ovládací panel sestavy disponuje vypínačem osvětlení a potenciometrem pro ruční nastavení intenzity. Lineární osvětlovač se skládá z několika světelných LED diod umístěných v řadě, matného filtru spojujícího jednotlivé bodové zdroje do homogenního plošného zdroje světla a čočky tvaru válce spojující rozptýlené světlo zdroje do úzkého pruhu. Tím je docíleno maximální světelné intenzity. Způsob nasvícení zkoumaného předmětu je v oblasti tzv. Dark field – oblast, kde nedochází k odrazu paprsku světla od povrchu zkoumaného materiálu do kamery, ale mimo ni viz. Obr. 26. Tímto se docílí zvýraznění obrysů všech dílů na povrchu DPS.



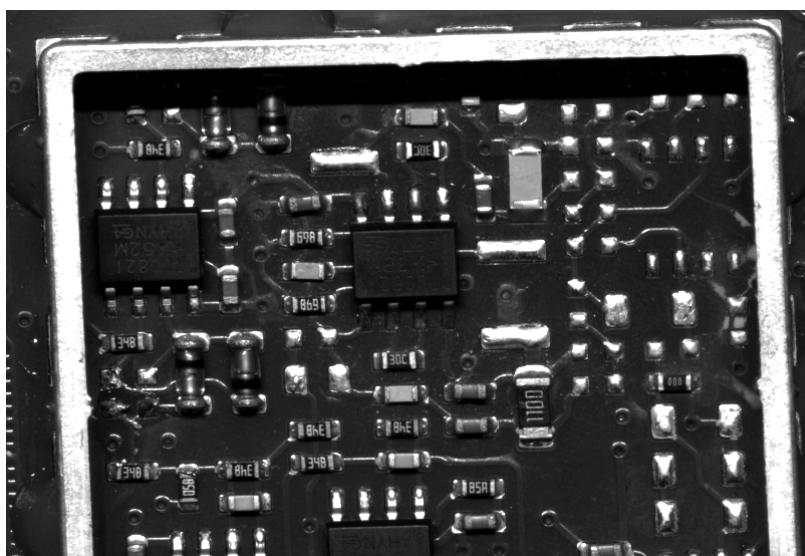
Obr. 26 Osvětlovač Effi Line v2



Obr. 27 Princip funkce Dark field

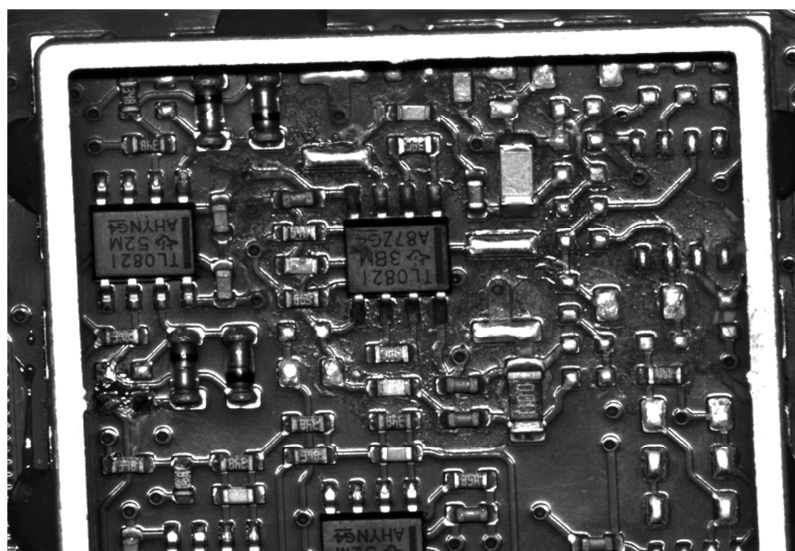
Po prvních testech řádkové kamery a jednoho lineárního osvětlení svítícího pod úhlem cca 50° se zjistilo, že v případě výskytu hran na DPS takto nelze osvětlit oblast náležící protilehlé straně nasvícené hrany Obr. 28. Vzniká zde temná oblast, ve které není možno nic měřit. Díky režimu nasvícení v tzv. temném poli jsou dobře patrné obrysy součástek, ale špatně čitelné nápisy na integrovaných obvodech.





*Obr. 28 Jeden osvětlovač pod velkým úhlem vzhledem ke kameře*

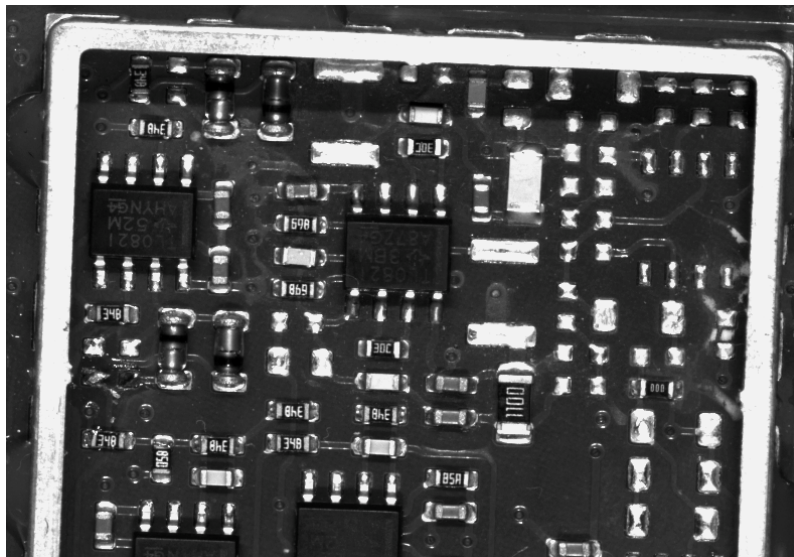
Jako pokus o částečnou nápravu byla otestována změna úhlu nasvícení DPS na cca 80°. Touto úpravou bylo docíleno lepšího nasvícení okolí hran, nicméně díky téměř kolmému paprsku světla došlo k většímu odrazu světla do kamery a režim nasvícení materiálu přešel z temného pole na světlé pole (Bright field) Obr. 29. V tomto režimu zanikají obrysy součástek, ale díky téměř kolmému nasvícení vynikají jinak špatně čitelné nápisy, například popisy IO či SMD diod a tranzistorů.



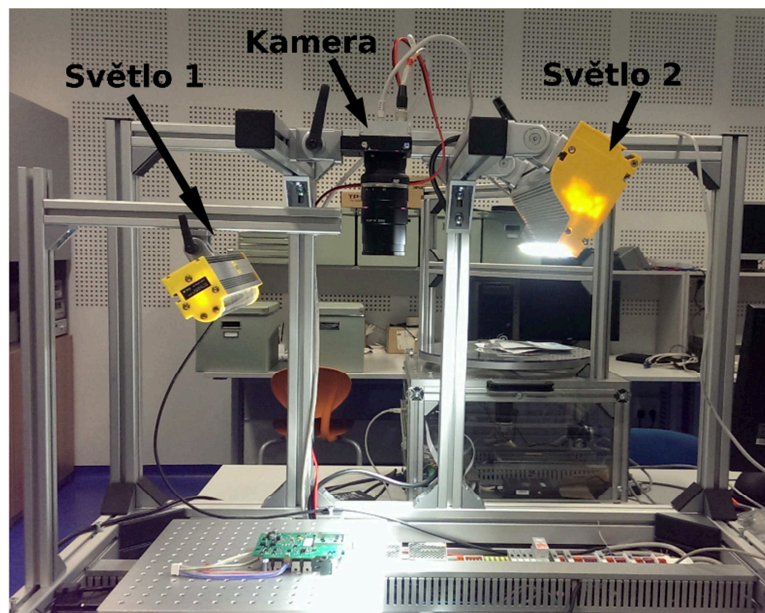
*Obr. 29 Jeden osvětlovač s malým úhlem vzhledem ke kameře*

Nejllepších výsledků lze dosáhnout nasvícením dvěma lineárními světly s umístěním z obou stran kamery Obr. 30. Skutečné umístění osvětlovačů ukazuje obrázek Obr. 31. Kvůli rozdílné

intenzitě každého osvětlovače byl osvětlovač s nižší intenzitou uchycen blíže zkoumanému povrchu. Tímto způsobem došlo k odstranění vlivu hran a temné oblasti za nimi a byl eliminován vznik stínů v okolí součástek. Nasvícením dvěma osvětlovači v režimu temného pole bylo z hlediska zvýraznění obrysů součástek dosaženo nejlepších výsledků.



*Obr. 30 Dva osvětlovače s velkým úhlem vzhledem ke kameře*



*Obr. 31 Pohled na měřící sestavu v provozu, nasvícení materiálu dvěma světly*



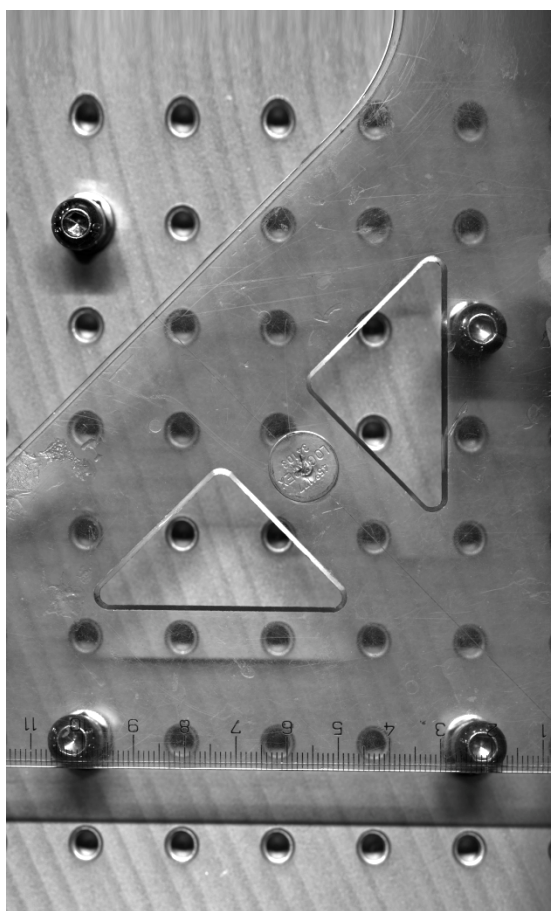
### 3.5 Návrh a vývoj SW komponent testeru v grafickém programovacím jazyku LabVIEW

Po sestavení HW a testech osvětlení byla vytvořena série snímků povrchu DPS z obou stran s různým úhlem natočení, který je vlivem absence přesného mechanického uchycení pro danou DPS předem nedefinovatelný. Ve vyvíjeném programu je prováděna detekce a následná korekce úhlu natočení DPS za pomoci detekce hran DPS, výpočtu rohových bodů a následným oříznutím snímku.

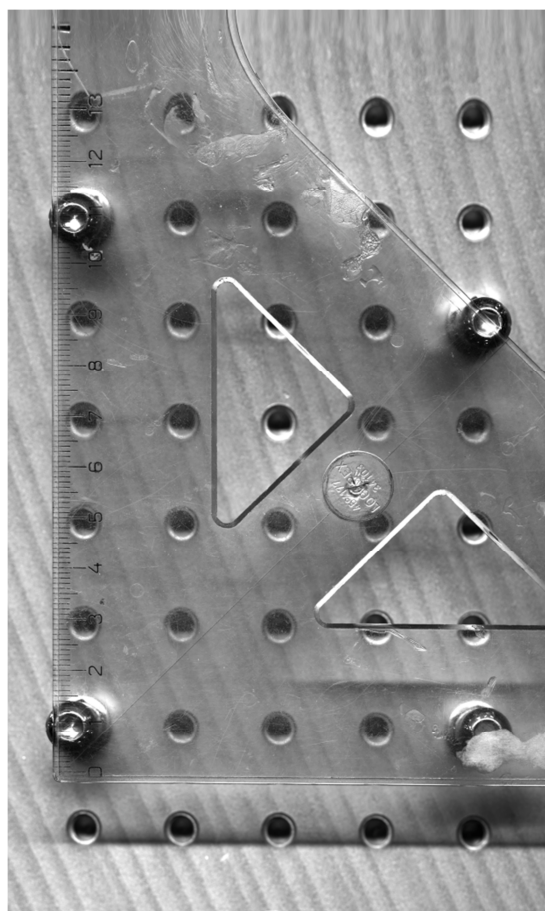
#### 3.5.1 Úprava rozlišení obrazu

Při testování bylo zjištěno, že stávající rozlišení (19 pixelů / 1mm) je pro vyhledávání malých dílů nedostačující. Pro nejlepší možný snímek by bylo nutné nastavit objektiv na takové zvětšení, aby byla DPS objektivem promítnuta na celou plochu obrazového snímače kamery. Zároveň by pro zlepšení výsledků bylo vhodné vytvořit tzv. HDR snímek zkoumané DPS. Jedná se o snímek s vysokým dynamickým rozsahem, vytvořený složením více snímků s různou dobou expozice. HDR snímek zobrazuje detaily jak jinak stinných, tak i jinak světlých míst, čehož jediným snímkem s jednou dobou expozice docílit nikdy nelze. Dále je množství dat v obraze možno zvýšit použitím barevné kamery místo černobílé. Aktuálně použitá černobílá kamera může poskytnout na 1 pixel maximálně  $2^{12}$  odstínů šedé, s použitím barevné kamery by bylo možné dosáhnout  $2^{24}$  odstínů barev. Použitím barevné kamery by zároveň vzrostla náročnost programu na výpočetní výkon a vzrostla by doba zpracování (aktuálně přes 1 minutu). Barevná kamera k dispozici není, diplomová práce tedy bude řešena s použitím stávající černobílé řádkové kamery Racer raL6144-16gm.

Zlepšení rozlišení kamery bylo docíleno vložením 1cm mezikroužku mezi tělo kamery a objektiv. Touto úpravou dojde ke zvětšení detailů v obraze a přiblížení se tzv. makro fotografii. Zároveň dojde ke zmenšení skenované oblasti, což při realizaci této práce nevadí, protože z 6144 možných bodů dostupných ze snímače řádkové kamery je pro realizaci snímku DPS použito 3000. Pro výpočet aktuálního rozlišení byly vytvořeny snímky pro kalibraci měřidlem délky v x ose viz. Obr. 32 a y ose viz. Obr. 32.



Obr. 32 Kalibrace x osy



Obr. 33 Kalibrace y osy

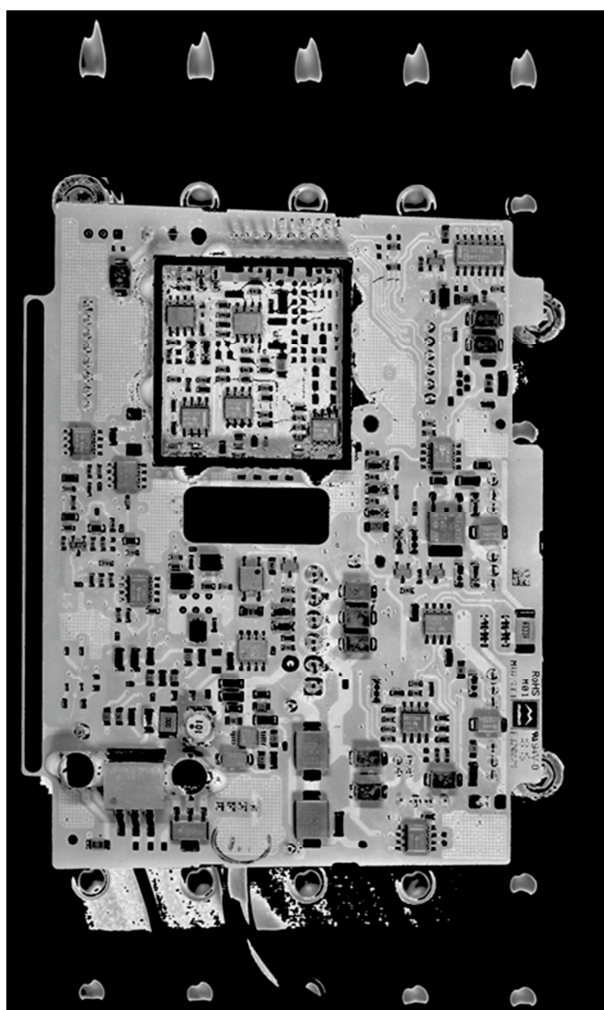
Výsledné rozlišení snímků činí 28,5 pixelu / mm v x ose a 27,5 pixelu / mm v y ose. S tímto rozlišením je již možno vyhledávat SMD kondenzátory a rezistory s dobrými výsledky.

### 3.5.2 Úprava snímků získaných z kamery

Jedním z hlavních částí procesu zpracování obrazu počítačem v procesu strojového vidění je tzv. segmentace obrazu, jedná se o rozdělení snímku na oblast, která je žádaná a bude se s ní dále pracovat (popředí) a oblast nijak nezajímavou (pozadí). Segmentaci je možno řešit dvěma obecnými postupy. Buď v podobě detekce hran jakožto souvislých delších úseček či křivek tvořících ohraničení celého objektu, nebo jako detekce celého objektu na základě podobných vlastností (barva, jas, struktura povrchu). V diplomové práci bylo použito segmentace souvislé oblasti na základě podobného jasu k oddělení povrchu vozíku posuvné soustavy od zkoumané DPS.

Pro efektivnější zpracování je vhodné získané snímky oříznout pouze na velikost analyzovaných DPS, dojde tím k výraznému snížení náročnosti na výpočetní výkon a snížení doby

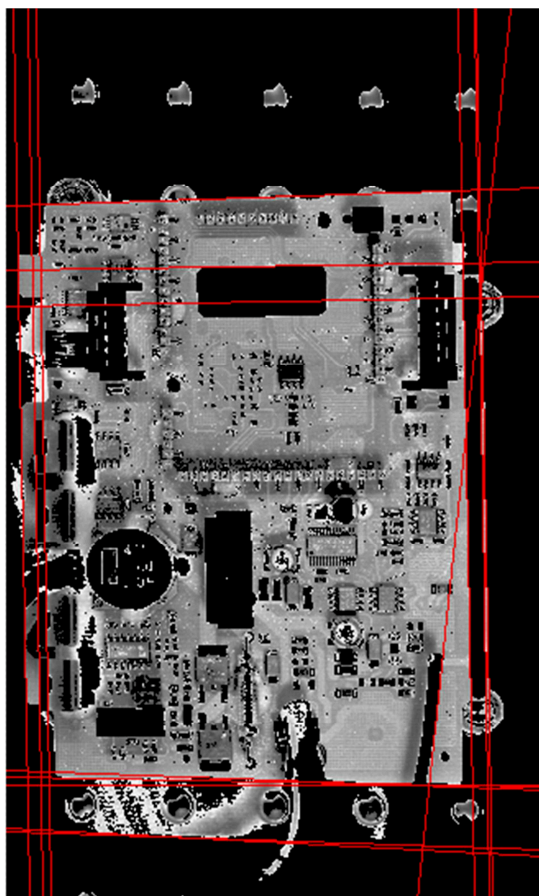
zpracování při vyhledávání objektů v obraze. Protože testované DPS nemají ideální čtvercový tvar, byla naprogramována funkce provádějící ořezání snímku bez ohledu na velikost, natočení a tvar zkoumané DPS. Hlavní myšlenkou a orientačním bodem v obraze byl zvolen pozlacený proužek na okraji testovaných DPS, který jednoznačně určuje jeden z okrajů viz. Obr. 36, zlatý proužek se nachází na pravém okraji snímku horní strany a levém okraji snímku spodní strany DPS. Prvním krokem je tresholding (prahování) pozadí snímku. Jedná se o odstranění obrazu s určitým rozsahem jasu (tzv. prahovou hodnotou - konkrétním odstínem šedé barvy), které odpovídají co nejlépe pozadí a úpravou jasu obrazu pro zvýšení kontrastu hran viz. Obr. 34.



*Obr. 34 Snímek z kamery po provedení prahování*

Následně funkce detekce hran provádí vyhledání všech hran ve vertikálním a horizontálním směru Obr. 35. Díky konstantní tloušťce a dobře kontrastní barvě zlatého proužku (tloušťka 78 až 88 pixelů tj. 2,8mm) je možno programově určit pozici proužku vůči středu obrazu a tím říct, ve kterém směru bude ležet opačná hrana DPS. Vyhledávání horizontálních hran je o něco složitější – vlivem

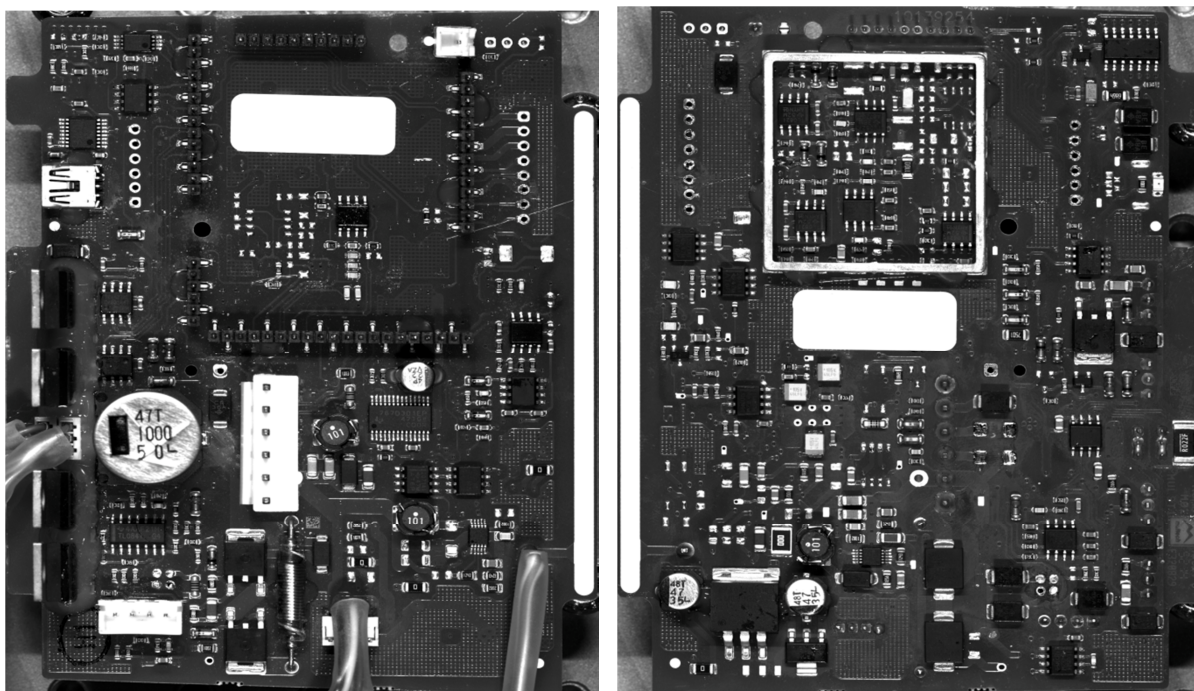
stínu za okrajem DPS funkce vyhledávání hran označí i hranu stínu. Díky konstantní výšce DPS nad podložkou byla vytvořena funkce, porovnávající vzdálenosti nalezených hran, kdy v případě detekce 2 hran s rozdílem 160 až 300 pixelů (hodnoty byly získány analýzou stínů všech snímků DPS) prohlásí jako okraj DPS vyšší hranu (nad detekovaným stínem). Tímto způsobem jsou nalezeny všechny okraje DPS, které z důvodu lichoběžníkového tvaru stále nejsou použitelné pro ořezání snímku, protože by tímto krokem došlo k nenávratné změně rozlišení snímku. Byla tedy vyvinuta funkce, která vypočítá průsečíky nalezených hran. Rovnoramenný lichoběžník se skládá ze dvou ramen o stejné délce, jedné dlouhé základny a jedné krátké základny. Analýzou vzájemných vzdáleností jednotlivých průsečíků je určena dlouhá základna a z předpokladu rovnoramenného lichoběžníku je druhá základna rozšířena koeficientem podílu délek obou základen vůči středovému bodu této krátké základny. Tímto způsobem jsou získány souřadnice rohů pravoúhlého obdélníku obsahujícího a těsně obepínajícího zkoumanou DPS. Dle souřadnic obdélníku je možné oříznout snímek bez nebezpečí deformace obrazu.



*Obr. 35 Snímek po detekci hran*

Výsledek po aplikaci funkce ořezání Image Extract Tetragon ukazuje obrázek Obr. 36. Snímek vlevo představuje testovanou DPS z horní strany, snímek vpravo ze strany protilehlé - spodní.





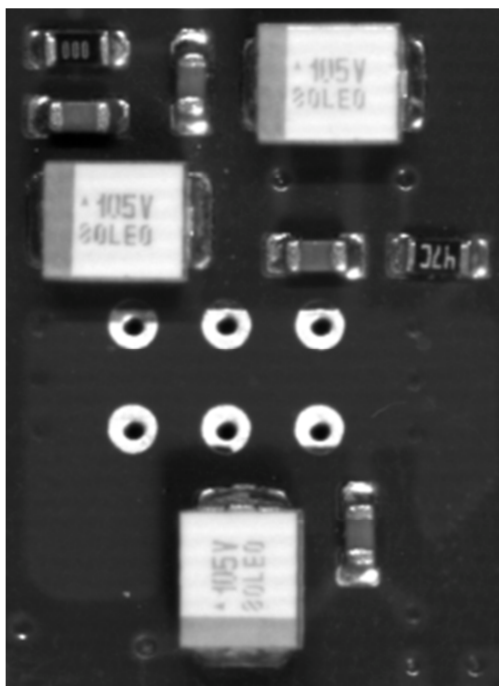
Obr. 36 Snímky DPS zarovnané dle světlého okraje a oříznuté

### 3.5.3 Vyhledávání objektů na DPS

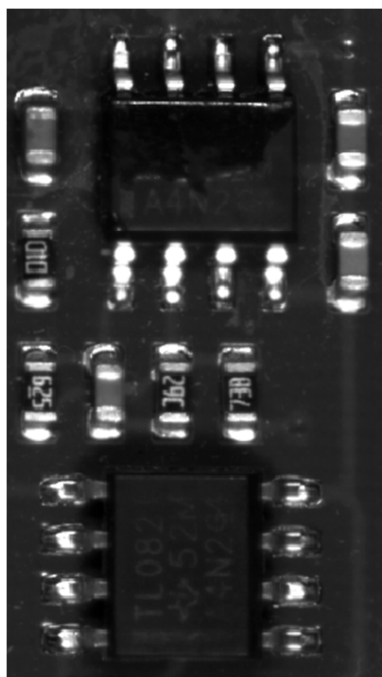
Samotný oříznutý snímek z kamery je již vhodný pro vyhledávání objektů. Proces vyhledávání dílů je v podstatě opět segmentace obrazu a opět ji lze řešit více možnostmi. Jednak vyhledáváním na základě podobnosti celé oblasti dílu a jednak na základě rozložení okrajů součástky a hran pájených spojů. Pro vyhledávání je použita funkce pattern matching, jenž hledá dle obrazové předlohy. Je – li obrazová předloha tvořena výřezem dílu z šedého snímku, obsahuje velké množství informací a vyhledávání probíhá měřením podobnosti celé oblasti dílu. Tento postup byl označen za standardní, protože se jedná o běžný postup používaný při vyhledávání v praxi. Další možností segmentace je vytáhnout ze snímku jen určitou informaci, v diplomové práci byla na snímek aplikována detekce hran a thresholding, kdy jsou ze snímku zanechány jen obrysy pájených spojů. Tento způsob vyhledávání byl označen za vyhledávání dle pájených spojů. Pro vyhledávání je použita opět obrazová předloha tentokrát s informacemi jen o rozložení pájených spojů. Nevýhodou jakékoli detekce dle předlohy je nutnost vytvoření obrazové předlohy pro každý vyhledávaný díl. Při realizaci této diplomové práce bylo použito 28 obrazových vzorů pro díly na testovaných DPS.

### 3.5.3.1 Standardní způsoby vyhledávání:

Standardním postupem při vyhledávání v obraze je vytvořit ze snímku vstupujícího do procesu výřezy s objekty, které chceme vyhledávat a uložit je jako obrazové předlohy. Vytvořením takovýchto předloh z šedého snímku jsou ukládány jak informace o pájených spojích (nožičky součástek), tak o tvaru pouzdra, odstínu povrchu a nápisech na něm. Při zpětném použití předlohy pro vyhledání počítač vyhledává obraz co nejpřesněji odpovídající předloze. Tento postup je vhodný pro vyhledávání výrazných objektů vzhledově neměnných, například tantalových kondenzátorů, při dodržení stejného osvětlení vypadají na všech DPS totožně viz. Obr. 37. Jinak tomu je u čipů a tranzistorů, které vlivem přítomnosti laku u čipů či rozdílným vzorem pouzdra u tranzistorů různých výrobců zcela shodné nejsou viz. Obr. 37. Čísla mluví za vše, když nejvyšší rozdíl score při vyhledávání znázorněných tantalových kondenzátorů činí 16 tj. 1,6% a znázorněných čipů 156 tj. 15,6%. Maximální odchylka score u všech čipů je 560 tj. 56% vůči referenčnímu snímku předlohy čipu.



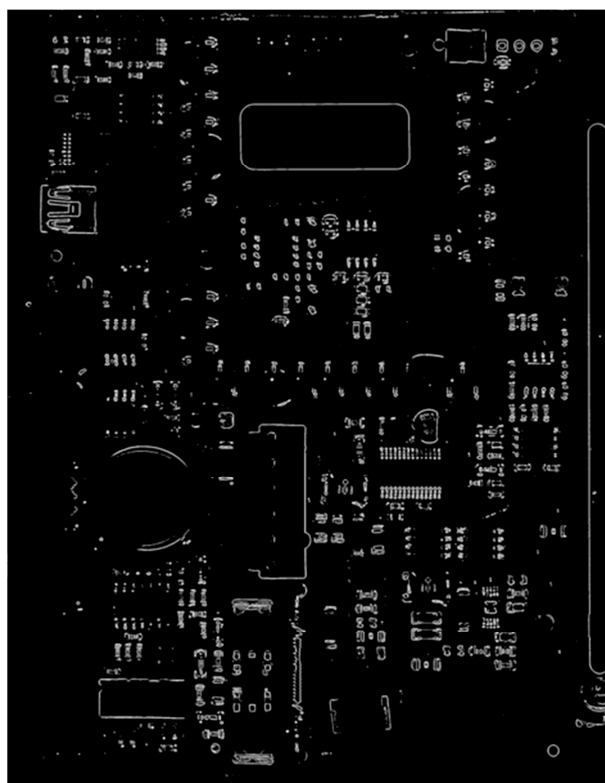
Obr. 37 Tantalové SMD kondenzátory



Obr. 38 Čipy

### 3.5.3.2 Vyhledávání dle pájených spojů:

Vyhledávání některých objektů jako čipů a tranzistorů není jen z oříznutého snímku příliš efektivní a při pokusech o analýzu snímků s nižším rozlišením se lépe osvědčilo hledání na základě obrysů pájených spojů. Snímek se zvýrazněnými spoji je vytvořen aplikací funkce vyhlazení na oříznutý snímek DPS, dále aplikací funkce detekce hran Sobel a následného prahování thresholding. Takovýmto postupem je dosaženo kontrastního snímku o pouze 2 hodnotách (černá a bílá) které zobrazují jen výrazné obrysy pájených spojů a světlých pouzder viz. Obr. 39. Vyhledávání probíhá opět použitím funkce vyhledávání dle předlohy pattern matching, kdy snímek předlohy obsahuje informace o vzájemných pozicích jednotlivých pájených spojů a tím je určováno, o jakou součástku se jedná.



Obr. 39 Snímek DPS se zvýrazněním pájených spojů

Tento postup je použit pro hledání integrovaných obvodů a tranzistorů a při nízkých rozlišeních snímku DPS přináší jinak nedosažitelné výsledky. Například u testovaných DPS jsou některé čipy opatřeny krycím lakem, který značně mění barvu povrchu součástky, což ztěžuje vyhledání standardní cestou, ale nemá žádný vliv na obrysy pájených spojů. Vyhledávání pozice dané součástky je tedy efektivnější než v případě vyhledávání celé součástky. Číselné score pro vyhledávání čipů z obrázku Obr. 37 činí 192 tj. 19,2%, maximální rozdíl score při vyhledávání všech čipů činí 405

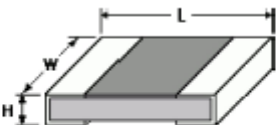
tj. 40,5% vůči referenčnímu obrazu pájených spojů čipu. Výsledky získané tímto postupem jsou tedy z hlediska maximálního rozptylu score při vyhledávání všech čipů o něco lepší, než v případě kontroly celého pouzdra.

Protože vyhledávání dle pájených spojů nedetekuje fyzickou přítomnost součástky nýbrž jen rozložení pinů / padů na DPS, byla aplikována funkce vytvářející výřez oblasti, identifikované pomocí pájených spojů, s následným rozhodováním o přítomnosti součástky či její absenci. Toho je docíleno analýzou počtu pixelů tmavých odstínů šedé vznikajících pouze na okrajích pouzder. Zároveň jsou tyto výřezy součástek vhodné pro automatickou detekci nápisu na součástce, případně pomocí pevného orientačního bodu na pouzdře i k měření natočení dané součástky. Bohužel při detekci textu se nepodařilo kvalitně rozlišit písmena a číslice i přes to, že lidským okem jsou dobře čitelné. Na detekci textu je nutné ještě pracovat, nebyla odzkoušena možnost převzorkování snímku a detekce po této úpravě.

V rámci testování vyvíjeného programu bylo zjištěno, že při dostatečném rozlišení podává funkce vyhledání dílu standardní cestou pomocí výřezu snímku součástky lepší výsledky než detekce na základě pájených spojů. Tento rozdíl je způsoben větším množstvím informací o součástce v případě šedé předlohy dílu než v případě černobílé předlohy jen s obrysy pájených spojů.

### 3.5.4 Obrazové předlohy, pouzdra:

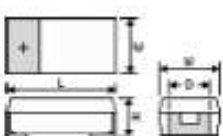
Třídění dílů probíhá dle pouzdra dané součástky. Velice pěkný přehled běžně používaných SMD pouzder je dostupný na internetových stránkách [8] znázorňujících pouzdra včetně rozměrů a jejich tolerančních mezí. Bohužel nebyly identifikovány některé typy pouzder konektorů a nestandardní tlumivka osazená technologií THT (součástka s pájecími drátovými vývody). Při realizaci diplomové práce byly použity následující typy známých pouzder – kondenzátory Obr. 40, Obr. 41, Obr. 42; diody Obr. 43, Obr. 44, Obr. 44; tranzistory Obr. 46, Obr. 46, Obr. 48.



Velikost EIA	Velikost metrická	L (mm)	W (mm)	H (mm)
0402	1005	1.0	0.5	0.55
0603	1608	1.6	0.8	0.9
0805	2012	2.0	1.25	1.3
1206	3216	3.2	1.6	1.5
1210	3225	3.2	2.5	1.7
1812	4532	4.5	3.2	1.7
1825	4564	4.5	6.4	1.7
2220	5650	5.6	5.0	1.8
2225	5664	5.6	6.3	2.0

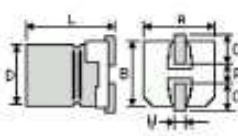
Obr. 40 Keramické kondenzátory





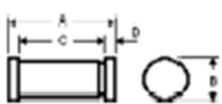
Velikost	Velikost metrická	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)
A	3216	3.2	1.6	1.6	1.2
B	3528	3.5	2.8	1.9	2.2
C	6032	6.0	3.2	2.5	2.2
D	7343	7.3	4.3	2.9	2.4
E	7343H	7.3	4.3	4.1	2.4

Obr. 41 Tantalové kondenzátory



Velikost	D (mm)	L (mm)	A (mm)	C (mm)	W (mm)	P (mm)
B	4.0	5.4	4.3	1.8	0.65	1.0
C	5.0	5.4	5.3	2.2	0.65	1.5
D	6.3	5.4	6.6	2.4	0.65	1.8
E	8.0	6.2	8.3	3.4	0.65	2.2
F	8.0	10.2	8.3	3.4	0.9	3.1
G	10.0	10.2	10.3	3.5	0.9	4.6

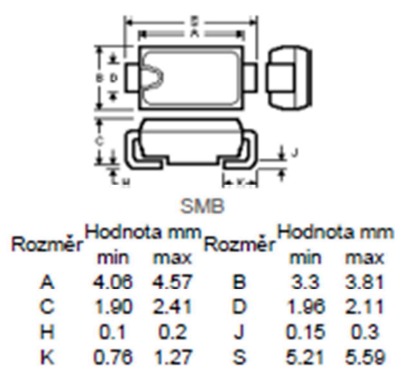
Obr. 42 Elektrolytické kondenzátory



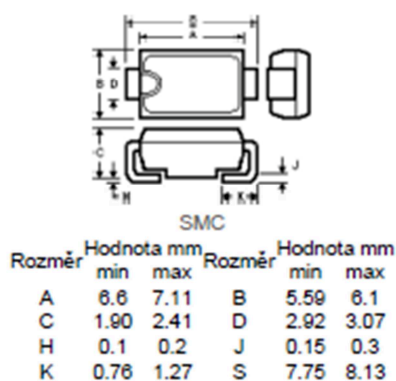
MELF / LL41

Rozměr	Hodnota mm		Rozměr	Hodnota mm	
	min	max		min	max
A	4.8	5.2	B	2.44	2.54
C	3.71	4.59	D	0.36	0.5

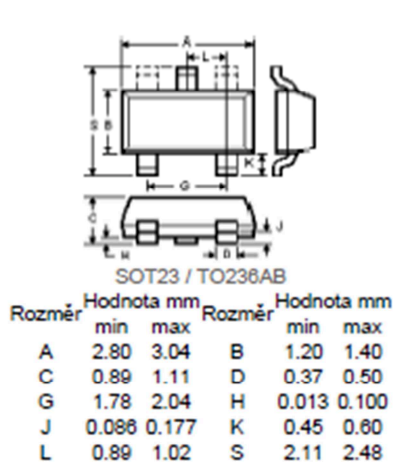
Obr. 43 Diody ve skleněném pouzdře



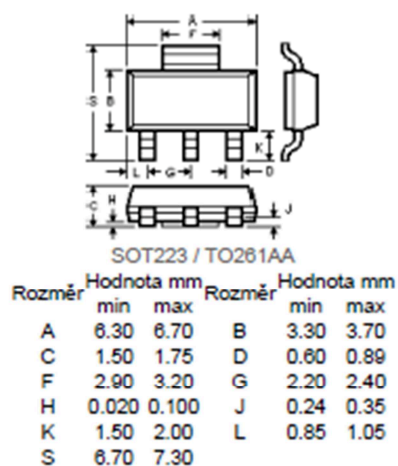
Obr. 44 Dioda v plastovém pouzdře malá:



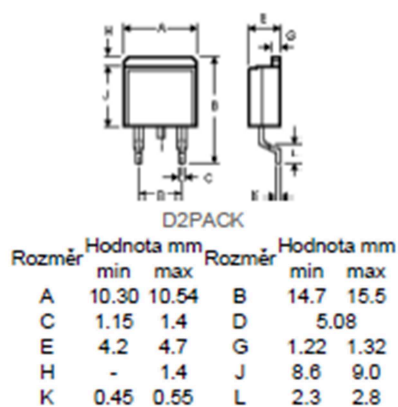
Obr. 45 Dioda v plastovém pouzdře velká



Obr. 46 Tranzistory malé:



Obr. 47 Tranzistory větší:

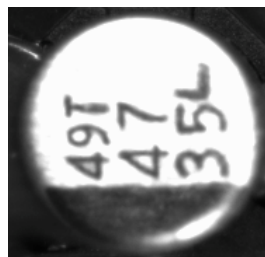


Obr. 48 Tranzistory SMD největší:

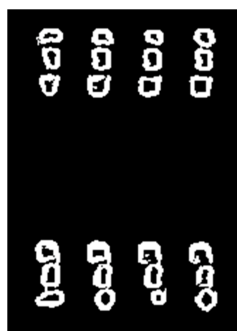
Snímky obrazových předloh pro vyhledávání vzorů ve snímku s odstíny šedi pak vypadají viz. Obr. 49, Obr. 49, snímky obrazových předloh pro vyhledávání ve snímku se zvýrazněním pájených spojů vypadají viz. Obr. 51, Obr. 51. Umístění všech obrazových předloh je jednotně ve složce Templates uvnitř složky programu.



*Obr. 49 Kondenzátor tantalový B*



*Obr. 50 Kondenzátor elektrolytický D*



*Obr. 51 Čip v pouzdře SO8*



*Obr. 52 Tranzistor SMD v pouzdře SOT23*

### 3.5.5 Konfigurační data:

Pro dosažení použitelných výsledků po procesu vyhledávání je nutné nastavit parametry funkce pattern matching na míru dané obrazové předloze. Nejdůležitějšími parametry jsou algoritmus použitý pro vyhledání, zde patří Grayscale Value Pyramid, Low Discrepancy Sampling a Gradients Pyramid a minimální shoda předlohy s vyhledaným obrazem v rozsahu 0 – žádná shoda až 1000 – 100% shoda. Z důvodu umožnění jednoduchého přístupu, editace a distribuce konfiguračních dat byl vytvořen soubor Config.txt s umístěním ve složce s obrazovými předlohami dílů Templates. Výčet obsahu konfiguračního souboru ukazuje Tabulka 3.

A	B	C	D
kondenzator_template_elyt C_	800	GVP	G
kondenzator_template_elyt D_	800	GVP	G
kondenzator_template_ker 0603_	670	GVP	G
kondenzator_template_ker 1206_	650	GVP	G
kondenzator_template_tantal B_	650	GVP	G
dioda_template_SMB_	690	GVP	G
dioda_template_SMC_	500	GVP	G
dioda_template_SMD LED_	200	GVP	G
dioda_template_zenerka SOD80_	690	GVP	G
dioda_template_1N4148 SOD80_	650	GVP	G
tranzistor_template_TO220_	900	GVP	G
tranzistor_template_SOT23_	550	GVP	BW
tranzistor_template_D2PACK_	300	GVP	BW
čip_template_SO8_	270	GVP	BW

Tabulka 3 Výčet obsahu konfiguračního souboru

Z obsahu souboru je jasné třídění dílů dle typu a pouzdra součástky (sloupec A), vsuvka template slouží pro jednoznačné určení snímku jako obrazová předloha. Konfigurační soubor se skládá ze 4 sloupců oddělených tabulátorem. První sloupec určuje název souboru (sloupec A), z důvodu testování a možnosti individuálních úprav je naprogramována funkcionalita, která umožňuje obrazové předloze dílu po vložení podtržítka za název připsat libovolný počet znaků jiných než podtržítka. Je možno tedy otestovat například upravenou obrazovou předlohu kondenzátoru a program načte konfiguraci původní obrazové předlohy. V názvech je dále patrné označení typu součástky a pouzdra pomocí zkratk. Například první záznam v konfiguračním souboru představuje elektrolytický kondenzátor s SMD pouzdrem typu C. Další sloupec určuje minimální hodnotu shody předlohy s vyhledaným obrazem (sloupec B), následující sloupec určuje typ algoritmu vyhledávání (sloupec C), GVP odpovídá Grayscale Value Pyramid, LDS Low Discrepancy Sampling a GP Gradients Pyramid. Poslední sloupec říká, zda má být obraz předlohy vyhledáván ve standardním šedém snímku DPS (G – gray) či v černobílém snímku se zvýrazněním pájených spojů (BW – black and white) (sloupec D).

Názvy souborů obrazových předloh jsou tedy částečně volitelné, pro představu v průběhu testování byly zkoušeny obrazové předlohy pro snímky s různým rozlišením, ale stejnou konfigurací pro vyhledávání Tabulka 4. Stále ale musí být dodrženo stejné umístění všech obrazových předloh v k tomu určené složce (Templates).

kondenzator\_template\_elyt C\_1.png

kondenzator\_template\_elyt C\_big.png

kondenzator\_template\_ker 0603\_1.png

kondenzator\_template\_ker 0603\_big.png

*Tabulka 4 Možnosti názvů souborů*

### 3.5.6 Zadávání kontrolních parametrů uživatelem:

Parametry pro kontrolu osazení je možno zadat vícero způsoby:

- Tabulkou se seznamem součástek s informacemi o souřadnicích umístění, úhlu natočení a toleranci těchto hodnot, u vybraných součástek je možné kontrolovat popis.
- Osazovacím schématem v kombinaci se seznamem součástek. Osazovací plán obsahuje informace o pozici součástky a natočení, klikací metodou je možné přiřadit pozici konkrétní součástce v seznamu.
- Etalonem již zkontrolované kvalitně osazené desky použité jako předloha, kde buďto vyhledáním obecných součástek dle pouzdra a určením jejich souřadnic lze klikací metodou přiřadit seznamu součástek správné umístění a orientaci, nebo porovnávat obraz předlohy s obrazem testované desky a graficky zvýraznit oblasti neshody.

Jako způsob zadávání kontrolních parametrů programu pro hodnocení kvality osazení DPS byla zvolena tabulka se seznamem součástek v datovém formátu CSV - KonfiguraceDPStopside.csv pro kontrolu osazení horní strany a KonfiguraceDPSbottomside.csv pro kontrolu osazení spodní strany DPS. Kontrolní soubor se do programu vkládá jako cesta k souboru DPS template CSV file viz. Obr. 54. Kontrolní soubor obsahuje sloupec součástka s názvy vyhledávaných dílů, které musí korelovat s názvy obrazových předloh s vynecháním části \_template, dále 10 sloupců pro zadání souřadnic x a y v jednotkách délky mm a sloupec pro zadání konkrétního textu, který má být přítomen na pouzdře dílu. 10 souřadnic dílů na řádek bylo zvoleno kvůli lepší přehlednosti tabulky, kdy v případě potřeby většího množství souřadnic obsluha přidá další řádek s názvem již použité součástky a pokračováním souřadnic. Jedná se o kontrolní soubor vytvořený MS.Excel, oddělovač x a y souřadnice (číselných hodnot) byl zvolen znak x. Souřadnice pozic součástek jsou vztaženy k výchozímu bodu ve snímcích

použitému defaultně v programovacím prostředí LabVIEW a tím je levý horní roh DPS. Ukázku obsahu souboru představuje obrázek Obr. 53.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Součástka	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y	Souřadnice X*Y
2	čip_SO8 šedý	20x15	17x50	17x61	40x36	52,5x35	62,5x81	70x81
3	čip_SO8 šedý	79x56	78,5x65,5					
4	dioda_SMB	48x93,5	52x79	68x91				
5	kondenzator_elyt C	62,5x63						
6	kondenzator_1	21x73,5						
7	kondenzator_ker 1206	31x103	46,5x78,5	49x78,5	55x80,5			
8	konektor_USB	10x30						
9	tlumivka_1	50x72,5	62x88					
10	tranzistor_TO220	6,5x49	6,5x62,5	6,5x84	6,5x96			
11	tranzistor_D2PACK	36,5x95	36,5x109,5					
12	konektor_1 pin	68,5x5						
13	konektor_4 pin	21x105						
14	konektor_6 pin	19,5x26						
15	konektor_8 pin	27x78,5						

Obr. 53 Příklad konfigurace kontrolního souboru.

Obsah aktuálně načteného kontrolního souboru zobrazuje indikátor Test list na ovládacím panelu programu, se strukturou totožnou struktúře kontrolního CSV souboru Obr. 54. Tento indikátor zároveň zobrazuje výsledky kontroly osazení DPS. Správný kontrolní soubor vybírá uživatel před spuštěním úlohy kontroly DPS zadáním umístění souboru pomocí prvku DPS template CSV file.

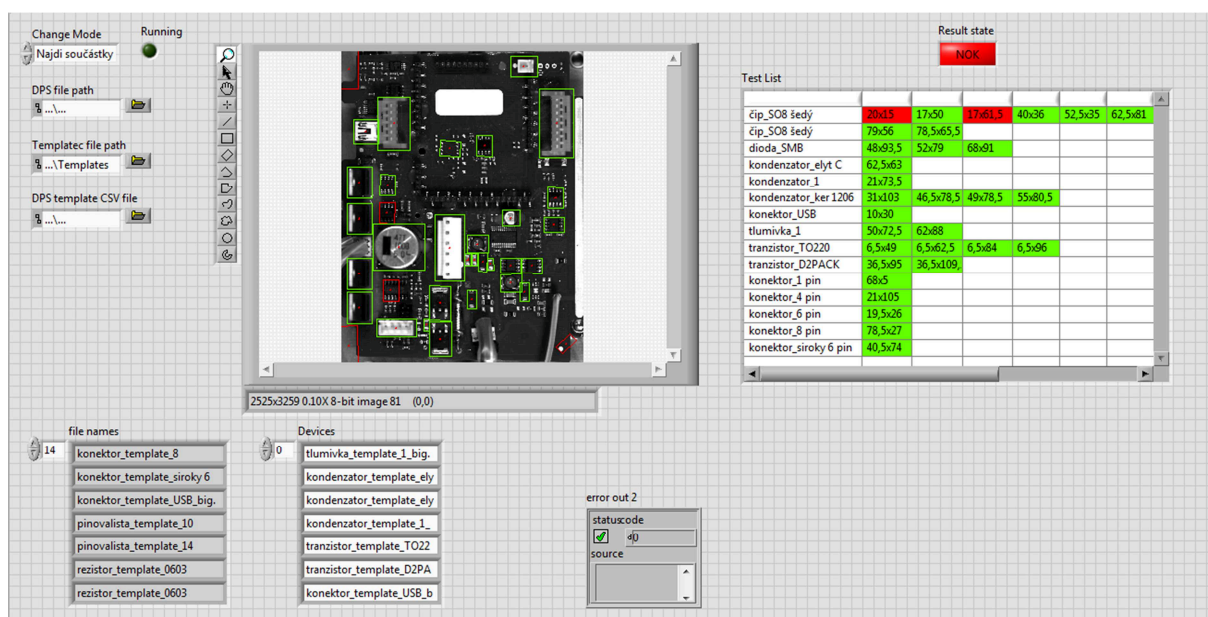
### 3.5.7 Uživatelské rozhraní programu:

Program byl navržen s ohledem na jednoduchost a univerzálnost. Celkem program disponuje 3 režimy automaticky či manuálně volenými pomocí výběrového prvku Change Modes. Při spuštění programu bez manuální změny režimu probíhá automatická volba následovně – Načti snímek → Ořež → Najdi součástky. Spuštěním programu dojde ke spuštění aktuálně zobrazeného režimu a rozsvícení indikátoru Running vedle volby režimu programu, aby uživatel zcela jasně věděl, kdy program běží, a kdy nikoli.

**Režim Načti snímek** – Načte a zobrazí snímek vytvořený kamerou umístěný na místě specifikovaném pomocí DPS file path. Zároveň při načítání souboru snímku program načítá seznam všech obrazových předloh s umístěním specifikovaným dle Template file path. Všechny nalezené předlohy dílů jsou uživateli k dispozici v tabulce File names. Zároveň dojde ke smazání výsledků předchozí analýzy osazení DPS.

**Režim Ořež** – Provádí oříznutí snímku z kamery na velikost DPS viz kapitola 3.5.2 Úprava snímků získaných z kamery.

Režim Najdi součástky – tento režim plní funkci kontroly osazení. Dle dílů v seznamu Devices, které uživatel vybral ze seznamu všech dostupných dílů File names, program vyhledá všechny výskyty dílů na DPS, dle kontrolního souboru zadaného pomocí cesty DPS template CSV file program zkontroluje, zda na testované DPS nalezl žádané díly a zobrazí výsledky testu, viz kapitola 3.5.8 Výsledky kontroly osazení DPS:.



Obr. 54 Uživatelské rozhraní programu

### 3.5.8 Výsledky kontroly osazení DPS:

Pro kontrolu nalezených a žádaných součástek byl do programu v prostředí LabVIEW implementován MATLAB skript – textově orientovaný kód využívající programovací prostředí Matlab. Jiný programovací jazyk byl zvolen z důvodu dostatečné výkonnosti a hlavně prostorové nenáročnosti a přehlednosti kódu jinak nedosažitelné. Skript slouží k porovnání dat výsledků analýzy snímku DPS a zadaných pozic součástek pomocí kontrolního souboru KonfiguraceDPStopside.csv.

Těsně před spuštěním samotného skriptu probíhá předpříprava dat kontrolou názvů vyhledaných a žádaných součástek. Díky možnosti vícenásobného výskytu stejné součástky v kontrolním souboru a možnosti absence či přebytku součástky v seznamu vyhledávaných dílů, probíhá porovnání názvů přiřazením čísla řádku kontrolního souboru k řádku dat výsledků hledání součástek ve snímku DPS. K vyhledání názvů byla použita funkce vyhledávání v 1D poli, která vrací indexy řádků, kde došlo ke shodě s vyhledávaným názvem, po dosažení poslední shody vrátí funkce při opětovném volání jako index hodnotu -1. Ukázkou před přípravy dat jsou snímky výpisu obsahu seznamů názvů nalezených součástek Obr. 55 a seznam názvů žádaných dílů Obr. 55, kdy vztahy

mezi těmito seznamy popisuje tabulka Lines Obr. 55, která každému řádku seznamu nalezených dílů přiřadí odpovídající řádky seznamu žádaných dílů.

Nalezené díly	Žádané díly	Lines
tlumivka_1	čip_SO8 šedý	7 -1 0
kondenzator_elyt C	čip_SO8 šedý	3 -1 0
kondenzator_elyt D	dioda_SMB	-1 0 0
kondenzator_1	kondenzator_elyt C	4 -1 0
tranzistor_TO220	kondenzator_1	8 -1 0
tranzistor_D2PACK	kondenzator_ker 1206	9 -1 0
konektor_USB	konektor_USB	6 -1 0
čip_SO8 šedý	tlumivka_1	0 1 -1
kondenzator_ker 1206	tranzistor_TO220	5 -1 0
dioda_SMB	tranzistor_D2PACK	2 -1 0
konektor_1 pin	konektor_1 pin	10 -1 0
konektor_4 pin	konektor_4 pin	11 -1 0
konektor_6 pin	konektor_6 pin	12 -1 0
konektor_8 pin	konektor_8 pin	13 -1 0
konektor_siroky 6 pin	konektor_siroky 6 pin	14 -1 0

Obr. 55 Seznam nalezených dílů

Obr. 56 Seznam kontrolovaných dílů

Obr. 57 Vztahy mezi seznamy

Tato tabulka vztahů Obr. 55 zároveň popisuje vztahy mezi tabulkami souřadnic nalezených a žádaných prvků. Skript provádí indexaci seznamu vztahů, přečte číslo řádku s žádanými souřadnicemi dílů, přečte první x souřadnici žádaného dílu a dle tabulky vztahů zkontroluje její přítomnost v příslušném řádku tabulky X souřadnic nalezených dílů. Výsledky porovnávání jsou zapisovány do 2D pole výsledků odpovídajícího rozměrově tabulce souřadnic žádaných dílů, kde přítomnost žádané součástky v seznamu daných nalezených součástí značí digitální hodnota pravda (True), nepřítomnost pak hodnota nepravda (False). Tato tabulka slouží k barevnému označení nalezených prvků v seznamu žádaných dílů v indikačním výpisu žádaných dat Obr. 58. Zároveň skript vytváří další tabulku opět s dvoustavovými hodnotami shody či neshody souřadnic, ale tentokrát rozložením shodnou s polem všech nalezených výsledků X. Tato tabulka slouží k vyčtení obrysů dobře nalezených dílů ze seznamu všech dat vyčtených ze snímku DPS pro následné barevné označení oblasti přítomnosti daného dílu.



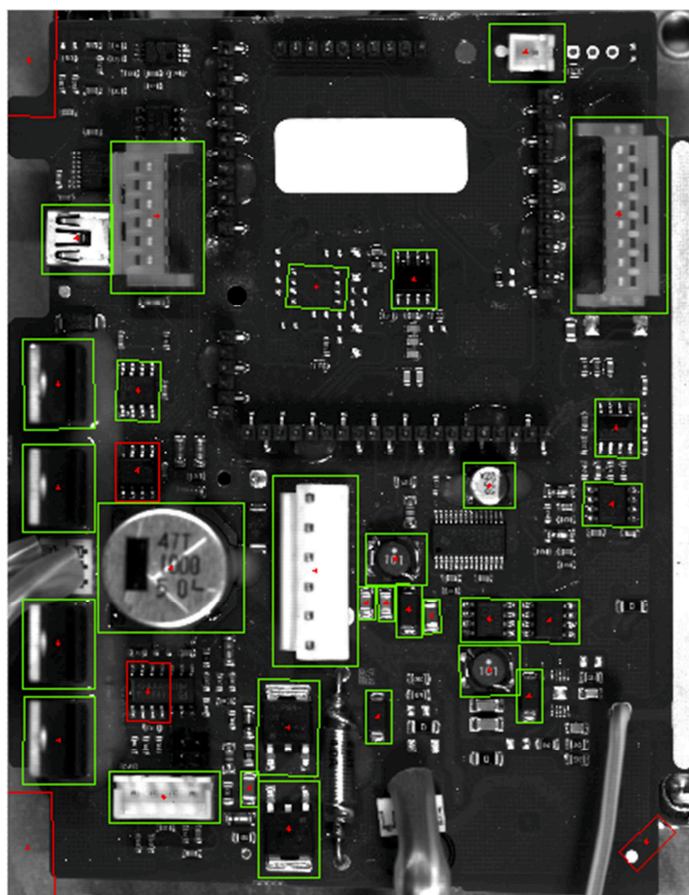
### 3.5.9 Zobrazení výsledků kontroly osazení DPS:

Zobrazení dosažených výsledků probíhá 3 způsoby. Jednak zeleným označením nalezených dílů a červeným označením nenalezených dílů v listu náhledu obsahu kontrolního souboru Obr. 58, jednak červeným označením všech nalezených dílů a zeleným označením žádaných dílů v náhledu snímku DPS Obr. 59 a jednak jako souhrnný výsledek, zda byly nalezeny všechny žádané díly. Ten kontroluje, zda jsou všechny položky v seznamu žádaných dílů nalezeny a jen tehdy označí DPS za dobře osazenou Obr. 60 značkou OK, v ostatních případech je DPS označena za špatně osazenou NOK.

čip_SO8 šedý	20x15	17x50	17x61,5	40x36	52,5x35	62,5x81	70x81
čip_SO8 šedý	79x56	78,5x65,5					
dioda_SMB	48x93,5	52x79	68x91				
kondenzator_elyt C	62,5x63						
kondenzator_1	21x73,5						
kondenzator_ker 1206	31x103	46,5x78,5	49x78,5	55x80,5			
konektor_USB	10x30						
tlumivka_1	50x72,5	62x88					
tranzistor_TO220	6,5x49	6,5x62,5	6,5x84	6,5x96			
tranzistor_D2PACK	36,5x95	36,5x109,					
konektor_1 pin	68x5						
konektor_4 pin	21x105						
konektor_6 pin	19,5x26						
konektor_8 pin	78,5x27						
konektor_siroky 6 pin	40,5x74						

Obr. 58 Barevné značení výsledků v náhledu konfiguračních dat

Ve snímku náhledu DPS jsou červeně značeny všechny nalezené díly neshodující se s žádanými díly Obr. 59.



*Obr. 59 Barevné značení výsledků ve snímku DPS*



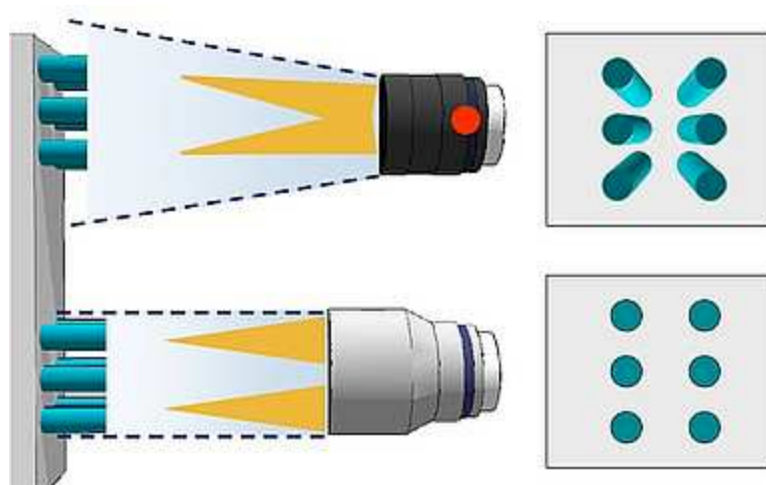
*Obr. 60 Souhrnné označení výsledků kontroly osazení DPS*

### 3.5.10 Výsledky testů, hodnocení:

Během testování byly zjištěny problémy s typem použitého objektivu. Kowa LM50LF je standardní objektiv se zorným úhlem přibližně  $46^\circ$  s kvalitní interpretací plochých objektů viz. kapitola 2.2 Popis objektivu. Při snímání pozic pouzder TO220 s výškou 13mm nad povrchem DPS došlo k perspektivnímu zkreslení obrazu Obr. 61 převzato z [9]. Tato chyba způsobuje posun středu součástky vůči skutečné pozici a je závislá na vzdálenosti objektu od středu objektivu. Na testovaných DPS se součástkou o výšce 13mm a vzdáleností 43mm od středu objektivu tato chyba pozice činí celé 2mm proti skutečné pozici. Pro účely testování kvality osazení byla chyba zahrnuta do kontrolního

souboru žádaných pozic dílů úpravou žádané x pozice tranzistorů TO220. Jediné řešení tohoto problému je použití telecentrického objektivu.

K obdobnému problému by došlo i v případě ohnutí tranzistoru, kdy dojde ke změně pozice součástky a tím označení DPS za špatně osazenou bez ohledu na bezproblémovou funkčnost dílu.



*Obr. 61 Standardní vz. telecentrický objektiv*

Doba trvání procesu vyhledání dílů přítomných ve snímku dps činí pro 15 dílů 1,2 minuty na kancelářském PC s 4 jádrovým procesorem Intel i5-2435M 2,4GHz a 4GB RAM, což je z pohledu na možnost využití jako optický tester v sériové výrobě DPS příliš. Byl proveden test rychlosti zpracování na školním PC s 8 jádrovým procesorem AMD FX-8350 4GHz a 8GB RAM a bylo dosaženo totožných výsledků tj. 1,2minuty pro analýzu osazení DPS 15 součástkami.

Doba vyhledávání je dlouhá z důvodu hledání obrazových předloh v celém snímku DPS. Zkrácení doby zpracování by napomohla změna konceptu programu, kdy seznam kontrolovaných dílů může zároveň určit oblast vyhledávání daného dílu, která bude mnohonásobně menší než celý snímek a tedy předpokládaná doba vyhledávání by měla být taktéž nižší.

Další možnou úpravou programu by mohla být změna obrazových předloh za obrysy dílu (obrys pouzdra, vývodů, pozice nápisů). Touto funkcí disponují profesionální automatické optické testery.

Pro rozšíření funkcí programu a zjednodušení obsluhy by v nadcházejícím čase bylo dobré naprogramovat funkci vytváření kontrolního souboru klikáním myši přímo na součástky ve snímku DPS.

### 3.5.11 Profesionální zařízení automatického optického testeru:

V rámci diplomové práce byla realizována exkurze do firmy zabývající se vývojem a výrobou DPS Marpos. Tato společnost disponuje profesionálním automatickým optickým testerem firmy Mirtec MV-2HT/2HTL Obr. 62. Systém umí detekovat vady jako přítomnost součástky, polarita součástky, přesnost pozice osazení, nedostatek pájky, zkratky a další. Zařízení používá skenování povrchu DPS v podobě matice snímků. Pohyb v ose y zajišťuje lineární posuvná soustava hýbající samotnou DPS, pohyb v ose x zajišťuje další posuvná soustava hýbající kamerou. Pro skenování povrchu DPS je použita kamera s plošným snímačem, výsledný snímek testovaných DPS je složen z matice menších snímků. Jedná se o barevnou kameru s rozlišením 1,3Mpx s telecentrickým objektivem a integrovanými 3 typy osvětlení (horizontální, vertikální, koaxiální).



*Obr. 62 Profesionální AOI zařízení*

Nastavování parametrů měření probíhá najetím myši nad součástku ve zvětšeném snímku DPS, výběru vhodného obrysu součástky z knihovny a specifikaci parametrů testování. Díky výkonnému PC provádějícímu analýzu snímků z kamery je zpracování výsledků velmi rychlé.

## 4 Závěr

Cílem diplomové práce je vývoj testeru se systémem pro zpracování obrazu. HW část je na zakázku vyrobený lineární pohon s řádkovou kamerou a osvětlovačem, SW část je vyvíjena jako systém pro posouzení kvality DPS.

Seznámil jsem se s typy testů používanými v průmyslu a zvolil typ vyvíjeného programu jako poloautomatický tester.

Seznámil jsem se s HW sestavy lineárního pohonu, doplnil chybějící díly a nastavil parametry součástí pro spolupráci sestavy s řádkovou kamerou.

Provedl jsem testy vlivu osvětlení na zobrazení elektronických součástek a mechanických prvků osazených DPS a vybral vhodný způsob nasvícení, kdy režim nasvícení v temném poli slouží k detekci přítomnosti součástek, režim nasvícení ve světlém poli slouží k detekci nápisů na pouzdrech součástek.

Vyvinul jsem program v programovacím prostředí LabVIEW zajišťující detekci DPS, oříznutí snímku a kontrolu osazení. Výstupem programu je dvoustavová indikace DPS v pořádku / vadná, grafické vyznačení nalezených a nenalezených součástek ve výpisu kontrolního souboru jakožto i grafické znázornění správně osazených součástek ve snímku DPS.

Do budoucna plánuji program rozšířit o kontrolu správnosti vyleptání vodivých cest na neosazených DPS za pomoci nasvícení UV světlem a snímání UV kamerou, kdy by mělo dojít k maximálnímu zvýraznění mědi od podkladového materiálu.



## 5 Literatura

- [1] *Kowa LM50LF Factory Automation Lens F-Mount* [online]. Španělsko: Aegis Electronic Group, 2015 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: [www.aegis-elec.com/kowa-lm50lf-factory-automation-lens-f-mount.html](http://www.aegis-elec.com/kowa-lm50lf-factory-automation-lens-f-mount.html)
- [2] ŽÍDEK, Jan. *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW* [skriptum]. Ostrava, 2002, 215s.
- [3] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice* [skriptum]. Ostrava, 2010, 194s.
- [4] Kontrolní systémy. *STM centrum* [online]. 2010 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: [www.smtcentrum.cz/kontrolni-systemy/](http://www.smtcentrum.cz/kontrolni-systemy/)
- [5] Testování DPS. *Prago Board* [online]. 2012 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: [www.pragoboard.cz/testovani](http://www.pragoboard.cz/testovani)
- [6] Poloautomatické kontrolní systémy DPS. *DPS elektronika od A do Z* [online]. 2012 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: [www.dps-az.cz/vyroba/id:9484/poloautomaticke-opticke-kontrolni-systemy-dps](http://www.dps-az.cz/vyroba/id:9484/poloautomaticke-opticke-kontrolni-systemy-dps)
- [7] Systém VisionLab v náročných aplikacích strojového vidění. *Moravské přístroje* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: [www.mii.cz/art?id=860&cat=1&lang=405](http://www.mii.cz/art?id=860&cat=1&lang=405)
- [8] Rozměry standardních SMD pouzder. *Pandatron* [online]. 2008 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: [pandatron.cz/?584&rozmery\\_standardnich\\_smd\\_pouzder](http://pandatron.cz/?584&rozmery_standardnich_smd_pouzder)
- [9] Objektivy pro strojové vidění. *Analýza obrazu* [online]. 2011-2016 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: [www.analyza-obrazu.cz/objektivy/](http://www.analyza-obrazu.cz/objektivy/)





## **Přílohy**

Příloha 1: obsah přiloženého CD

1. Katalogové listy (adresář Katalogové listy)
2. Ukázka programu (adresář Program)
3. Diplomová práce ve formátu PDF